

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL.



CARACTERIZACION HIDRAULICA DE UN REACTOR  
BIOLOGICO DE LODOS ACTIVADOS

Por

JESUS MARIA RENDON LEAL

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRIA EN CIENCIAS  
CON ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL

DICIEMBRE DE 2003

T

TD767.7

R4

2008

c.1

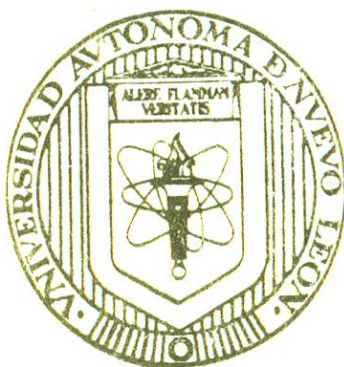


1090020083



# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



T  
TD767.7  
R4  
2008  
c.1

## CARACTERIZACION HIDRAULICA DE UN REACTOR BIOLOGICO DE LODOS ACTIVADOS

Por

JESUS MARIA RENDON LEAL

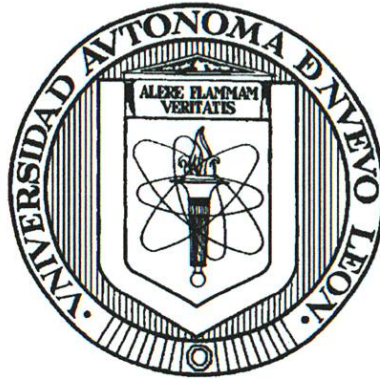
Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRIA EN CIENCIAS  
CON ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL

DICIEMBRE DE 2008



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DE UN REACTOR  
BIOLÓGICO DE LODOS ACTIVADOS**

**Por**

**JESÚS MARÍA RENDÓN LEAL**

**Como requisito parcial para obtener el grado de  
MAESTRIA EN CIENCIAS  
Con especialidad en Ingeniería Ambiental**

**Diciembre de 2008**

**CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DE UN REACTOR  
BIOLÓGICO DE LODOS ACTIVADOS**

**Aprobación de la Tesis:**



---

**El Director de la Tesis  
Dr. Jimmy Luis Loaiza Navia**



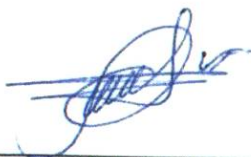
---

**El Evaluador de la Tesis  
Dr. Victor Hugo Guerra Cobián**



---

**El Evaluador de la Tesis  
M. EN C. Edgar Amauri Arteaga Balderas**



---

**El Subdirector de Estudios de Postgrado  
Dr. Pedro L. Valdez Tamez**

**DR. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ**  
**Sub-Director de Estudios de Posgrado**  
**De la Facultad de Ingeniería Civil**  
**P r e s e n t e . –**

Distinguido Dr. Valdez:

Por este medio comunico a usted, que el INGENIERO JESÚS MARIA RENDÓN LEAL pasante de la maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental ha concluido satisfactoriamente su trabajo de tesis titulado: "CARACTERIZACIÓN HIDRAÚLICA DE UN REACTOR BIOLÓGICO DE LODOS ACTIVADOS", por lo que no tengo inconveniente en solicitar a Usted que amablemente gire las instrucciones necesarias para dar paso a los trámites correspondientes para atender la solicitud de Examen de Grado del Ing. Rendón con los requisitos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales de nuestra Institución.

Agradeciendo de antemano la atención brindada a la presente, me es grato despedirme, quedando a sus apreciables órdenes.

**A T E N T A M E N T E**

*"Alere Flammam Veritatis"*

*Monterrey, N. L. a 02 de Diciembre de 2008*



---

**DR. JIMMY LUIS LOAIZA NAVIA**  
**DIRECTOR DE TESIS**



**Dr. Pedro L. Valdez Tamez**  
**Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**Universidad Autónoma de Nuevo León**

Estimado Dr. Valdez Tamez:

En atención a su oficio, en el que me informa que he sido designado como Evaluador de la tesis "**CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DE UN REACTOR BIOLÓGICO DE LODOS ACTIVADOS**" que presenta el Ing. **Jesús María Rendón Leal**, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, comunico a Usted que he leído y evaluado la calidad de dicha tesis, considerándola como **APROBADA.**

Sin otro particular por el momento, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración que considere pertinente.

**ATENTAMENTE**  
**"ALERE FLAMMAM VERITATIS"**  
**Cd. Universitaria, 24 de noviembre del 2008.**



**ING. EDGAR AMAURI ARTEAGA BALDERAS, M. EN C.**  
**Evaluador de Tesis de Maestría**

**Dr. Pedro L. Valdez Tamez**  
**Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**Universidad Autónoma de Nuevo León**

Estimado Dr. Valdez:

En atención a su oficio, en el que me informa que he sido designado como Evaluador de la tesis "**Caracterización Hidráulica de un Reactor Biológico de Lodos Activados**", que presenta el **Ing. Jesús María Rendón Leal**, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, comunico a Usted que he leído y evaluado la calidad de dicha tesis, considerándola como **APROBADA**.

Sin otro particular por el momento, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración que considere pertinente.

**ATENTAMENTE**

Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, a 26 de noviembre de 2008



**Dr. Víctor Hugo Guerra Cobián**  
**Evaluador de Tesis de Maestría**



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

## COMPROBANTE DE CORRECCIÓN

Tesista: JESÚS MARÍA RENDÓN LEAL

Tema de la tesis: CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DE UN  
REACTOR BIOLÓGICO DE LODOS ACTIVADOS.

Este documento certifica la corrección  
Del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográfico,  
metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

(NINGUNA)

Nombre y firma de quien corrigió:

Arq. Ramón Longoria Ramírez

**DR. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ**

Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación

Ciudad Universitaria, a 29 de agosto de 2008





# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**ING. LÁZARO VARGAS GUERRA**

Director del Departamento de Escolar y de Archivo  
UANL

PRESENTE.-

Por este conducto me permito comunicarle que el **ING. JESÚS MARÍA RENDÓN LEAL**, pasante de la **Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental**, ha solicitado su examen de grado, para lo cual ha cubierto con la totalidad de los requisitos académicos y administrativos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales y el Reglamento General de Estudios de Posgrado de nuestra Institución. De la manera más atenta, le solicito su colaboración para que se de el trámite correspondiente en el Departamento a su digno cargo.

Sin otro particular por el momento, me es grato enviarle un cordial saludo y reiterarme a sus respetables órdenes.

ATENTAMENTE

**"ALERE FLAMMAM VERITATIS"**

Cd. Universitaria a 3 de diciembre del 2008

**Dr. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ**

Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación



SUB DIRECCION DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO E INVESTIGACION

C.c.p. Archivo.

## *Dedicatoria*

*Dedico esta tesis a mis queridos hijos Jesus Mario, Lorena Elizabeth, Ana Karen y Carlos Alberto, así como a mis nietos Jesus Mario y Patricio Alejandro como un ejemplo de superación personal en la vida*

*Jesus Maria*

## **AGRADECIMIENTOS**

**GRACIAS a dios** por darme el milagro de la vida; por enseñarme cada día que la vida puede ser maravillosa y por tantos otros dones que me ha brindado; gracias

**A mis padres** por confiar en mi; Papá y Mamá, se que donde quiera que ustedes estén guían mis pasos e iluminan mi camino, aun en los momentos mas oscuros; muchas gracias por su amor, apoyo y comprensión hacia mi.

A todos y cuantos forman parte de mi familia; gracias

Al Dr. Jimmy Loaiza Navia, por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, que el día de hoy se ve culminado; mil gracias doctor.

A la señora Socorro Rodriguez Alanis, mi secretaria, por la ayuda que he recibido de su parte a lo largo de mi etapa de estudios superiores; mil gracias

Y muy especialmente a mi esposa Elizabeth, porque debido a su apoyo, amor y confianza que me ha brindado, hoy me es posible dar este paso; muchas gracias



## RESUMEN

Ing. Jesús María Rendón Leal

Fecha de graduación: Junio de 2008

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Civil

Título del estudio: **CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DE UN REACTOR BIOLÓGICO DE LODOS ACTIVADOS**

Número de páginas: 76

Candidato para el grado de Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental.

Área de Estudio:

Ingeniería Ambiental

**Propósito y Método del estudio:** A los reactores biológicos de la planta de tratamiento "Dulces Nombres" se les pretende incrementar la capacidad de tratamiento sin modificar sus condiciones estructurales actuales, por lo que es necesario realizar el presente estudio para determinar la factibilidad de desarrollar ese incremento de capacidad de tratamiento sin que represente un riesgo reducir las eficiencias operativas actuales de esa planta.

El método de desarrollo de este estudio constó de 4 fases.

1. Mediante visitas al sitio, la revisión de planos y la realización de entrevistas con los operadores, se logró actualizar el diagrama de flujo de la planta.
2. Desarrollo de una pre-simulación con el software AQUASIM<sup>®</sup>, para el diseño de las pruebas de trazador.
3. Se realizó la prueba de trazador y el programa de muestreo y medición del flujo correspondiente.
4. Se llevó a cabo el análisis de los datos obtenidos, para determinar el modelo hidráulico de la planta.

**Contribuciones y conclusiones:** sin duda alguna, se puede establecer que este trabajo de investigación ha dejado de manifiesto en forma clara las ventajas que tiene el uso de un simulador, al reducir el tiempo de análisis de los resultados y, de igual forma, en la planeación de las pruebas pertinentes. Los excelentes resultados obtenidos para la prueba de trazador permitieron reforzar la viabilidad de la pre-simulación, como una herramienta de planeación para la prueba de trazador.

A partir del análisis de punto de estado, practicado a los clarificadores 1 y 2, se determinó que debido a la alta concentración promedio de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) con que opera, la PTAR se encuentra bajo un alto riesgo de pérdidas de biomasa por arrastre, lo cual implica una disminución en la calidad. Por otra parte, si la recirculación de lodo se mantuviera como la actual y los Sólidos Suspendidos del Licor Mezclado (SSLM) se redujeran hasta la concentración de diseño, los clarificadores secundarios permitirían operar con cargas hidráulicas de hasta el doble de la recirculación para ambos reactores y aún se estaría operando sin riesgo alguno.

## INDICE DE CONTENIDO

Capítulo	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN.</b> . . . . .	<b>01</b>
1.1 Generalidades. . . . .	01
1.2 Presentación del modelo ASM1. . . . .	02
1.3 Presentación de la planta de tratamiento “Dulces Nombres”. . . . .	03
1.4 Flujo histórico de la planta “Dulces Nombres”. . . . .	06
1.5 Descripción del problema. . . . .	06
1.6 Objetivo del trabajo. . . . .	07
<b>2. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.</b> . . . . .	<b>08</b>
2.1 Justificación. . . . .	08
2.2 Hipótesis. . . . .	10
2.3 Objetivos. . . . .	10
<b>3. MARCO TEÓRICO.</b> . . . . .	<b>11</b>
3.1 Evaluación hidráulica de los reactores biológicos. . . . .	11
3.2 Teoría básica. . . . .	11

Capítulo	Página
3.3 Aspectos relevantes de la prueba del trazador. . . . .	16
<b>4. MATERIAL Y MÉTODOS. . . . .</b>	<b>19</b>
4.1 Visita a la PTAR "Dulces Nombres" . . . . .	19
4.2 Pre-simulación del proceso hidráulico en AQUASIM® . . . . .	20
4.3 Prueba del trazador con Rhodamina WT . . . . .	21
4.4 Calibración del modelo hidráulico. . . . .	23
<b>5. RESULTADOS . . . . .</b>	<b>24</b>
5.1 Pre simulación del proceso hidráulico en AQUASIM® . . . . .	24
5.2 Definición del funcionamiento real del tratamiento. . . . .	24
5.3 Verificación de la operatividad de los medidores de flujo. . . . .	25
5.4 Determinación de parámetros nominales de operación y diseño. . . . .	26
5.5 Implementación del modelo del proceso simulador. . . . .	27
5.6 Calculo de parámetros necesarios para la prueba de trazador. . . . .	27
5.7 Prueba de trazador con Rhodamina WT. . . . .	31
5.8 Calibración del modelo hidráulico. . . . .	33
5.9 Validación de los modelos hidráulicos. . . . .	39
5.10. Determinación de caudales mediante la prueba de trazador. . . . .	44
<b>6. CONCLUSIONES. . . . .</b>	<b>45</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. . . . .</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS. . . . .</b>	<b>52</b>



## LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
I. Criterio para caracterizar, Metcalf & Eddy (2003) . . . . .	15
II. Parámetros de operación y diseño nominales.. . . .	26
III. Caudales obtenidos de los medidores de flujo. . . . .	33
IV. Caudal influente para los reactores 1 y 5. . . . .	36
V. Información de caudal para los reactores 1 y 5. . . . .	37
VI. “Q <sub>in</sub> ”, resultado de la simulación y su “Chi <sup>2</sup> ”. . . . .	41
VII. Especificaciones para cada modelo generado. . . . .	44

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Sistema de saneamiento del Área Metropolitana de Monterrey, N.L. . . . .	4
2. Vista panorámica de las unidades de proceso, planta "Dulces Nombres". . . . .	5
3. Esquema del reactor biológico de la PTAR "Dulces Nombres" . . . . .	6
4. Comportamiento del flujo de agua residual histórico. . . . .	7
5. Curva $C(t)/C_0$ para distintos valores de $(d)$ . . . . .	7
6. Botes de Rhodamina WT utilizados en las pruebas de trazador. . . . .	18
7. Adición del volumen de Rhodamina WT en estación de recirculación de lodos. . . . .	22
8. Muestreo del licor mezclado en canal común de reactores biológicos. . . . .	23
9. Esquema descriptivo del funcionamiento del tratamiento secundario . . . . .	25
10. Curvas de respuesta a para diferentes volúmenes de Rhodamina WT. . . . .	29
11. Curva de repuesta a un volumen de 8 l de Rhodamina WT. . . . .	30
12. Distribución de frecuencia de muestreo, aplicada a los dos reactores. . . . .	31
13. Curva de concentración de rodamina WT . . . . .	32
14. Simulación del modelo de 4 tanques en serie, utilizando caudales medidos. . . . .	34
15. Distribución de tiempos de residencia para los reactores 1 y 5. . . . .	35
16. Simulación de curvas de respuesta con $Q_{in}$ calculados. . . . .	37
17. Simulación de curvas de respuesta, utilizando los $Q_{rec}$ medidos. . . . .	38
18. Análisis de sensibilidad. . . . .	39
19. Curvas de ajuste para los caudales estimados simultáneamente. . . . .	40
20. Validación del mejor modelo propuesto mediante $\chi^2$ . . . . .	42
21. Curvas de ajuste; modelo de 2, 3, 4, 5 y 7 tanques colocados en serie. . . . .	42

## NOMENCLATURA

AQUASIM <sup>®</sup>	Nombre del software utilizado para el modelo hidrodinámico
ASM1	Modelo de lodos activados N°1
ASCE	Asociación Americana de Ingenieros Civiles
Canal R5	Canal de interconexión del rector No. 5
CS1	Clarificador secundario No. 1
$C_{TOTAL}$	Concentración de trazador en el flujo total
$C_{TRAZADOR}$	Concentración del tinte trazador
$C(t)$	Concentración del trazador
$C_0$	Respuesta normalizada del trazador
$d$	Numero adimencional de dispersión
DQO	Demanda química de oxígeno
EPA	Agencia de Protección al Ambiente USA (Siglas en ingles)
ERL	Estación de distribución de recirculación de lodos
$E(t)$	Distribución de la edad de trazador
$F_{m\acute{a}sico}$	Velocidad a la que se inyecta el trazador
$g$	Gramo
hrs.	Horas
IPD	Institución pública descentralizada
$l$	Litros
$L$	Longitud característica del reactor
$L; C_{rod\_comer}$	concentración de la Rhodamina WT
$lps$	Litros por segundo
$m$	Metro
min.	Minuto



mg	Miligramo
m <sup>3</sup> /h	Metros cúbicos por hora
mg/l	Miligramo por litro
ml	Mililitro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
n	Numero de tanques de mezcla completa en serie
NOM	Norma oficial mexicana
ppm	Partes por millón
PSA	Planta criogénica de separación de aire
PTAR	Planta de tratamiento de agua residual
Q <sub>cc</sub>	Caudal de canal común
Q <sub>cs1</sub>	Caudal al clarificador secundario No.1
Q <sub>CS2_T</sub>	Caudal de clarificador secundario No.2 total
Q <sub>in</sub>	Caudal de entrada a cada reactor biológico
Q <sub>in</sub> calculados	Caudal de entrada calculados
Q <sub>in_tot</sub>	Caudal de entrada total
Q <sub>rec</sub> medidos	Caudal de recirculación medidos
Q <sub>rec_total</sub>	Caudal de recirculación total
Q <sub>rio</sub>	Caudal al Río
Q <sub>TRAZADOR</sub>	Flujo del trazador medido en bomba dosificadora
Q <sub>TOTAL</sub>	Caudal en el punto de interés
Q <sub>venta</sub>	Caudal de venta
Q <sub>was</sub>	Caudal de purga de clarificación secundaria
R1	Reactor biológico No. 1
R5	Reactor biológico No. 5
R1A	Reactor biológico No. 1, celda A

Rhodamina W T	Tinte trazador utilizado en la prueba.
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SSLM	Sólidos Suspendidos en el Licor Mezclado
t	Tiempo
t_aplic_rod	Tiempo de aplicación del trazador
Tubería _ río	Tubería al río
Tmean	Tiempo de retención medio
t <sub>R</sub>	Tiempo promedio de retención
$\tau$	Tiempo de retención hidráulica celular
u	Velocidad del agua en el tanque
USA	Estados Unidos de America
V/Q	Tiempo de retención hidráulico nominal
V_aplic_rod	Volumen de Rhodamina WT a utilizar
V_total	Volumen total por cada reactor biológico
WEF	Water Enveromental Federetion
$\sigma^2$	Varianza
$\mu\text{m}$	Micrometros
$\mu\text{g/l}$	Microgramos por litro
°C	Grados centígrados
$\theta$	Tiempo Normalizado

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCION**

#### **1.1. Generalidades.**

Uno de los indicadores más importantes, relacionado con el desarrollo de las poblaciones que maneja el Banco Mundial, es la disponibilidad y sustentabilidad del recurso agua. Esto va asociado con las acciones para mantener la calidad de las fuentes de abasto, lo cual significa descargar agua residual bajo normas, con el fin de preservar en tiempo y forma los recursos hídricos, considerados patrimonio de las futuras generaciones.

En México, en materia de saneamiento y control de la contaminación, ya se dieron los pasos necesarios por parte de las autoridades, al consolidar un conjunto de normas para descarga a cuerpos receptores y/o para reúso (NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997) respectivamente. Sin embargo, a la fecha existe rezago en su cumplimiento, en el nivel nacional, sea esto por falta de recursos técnicos, económicos o de personal dedicado.

Como es del conocimiento general, el noreste de la República Mexicana se caracteriza, entre otras cosas, por su condición semidesértica, su clima extremo y la consiguiente escasez de agua; pues el promedio de precipitación anual difícilmente rebasa los 600 mm. La ciudad de Monterrey y su área metropolitana constituyen el

principal centro urbano de toda la región, ciudad considerada como la tercera en importancia en el nivel nacional, después de México, Distrito Federal y Guadalajara. Con sus respectivas zonas conurbadas, es una ciudad industrial por tradición, donde está asentada industria papelera, cementeras, de la construcción, vidriera, acerera, automotriz, alimenticia, eléctrica y cervecera, entre otras.

En materia de saneamiento del agua, hoy en día Monterrey es la única ciudad del país que trata la totalidad de su agua residual colectada en su red de drenaje. Otras urbes del país, como México, Distrito Federal y Guadalajara, entre otras, apenas están en proceso de concurso para la construcción de sus plantas. En el Distrito Federal ha habido ya dos o tres intentos de resolver el problema de la falta del tratamiento de agua residual, pero esta tarea no se ha materializado. Ahora el Gobierno Federal nuevamente retoma esa posibilidad.

## **1.2. Presentación del modelo ASM1.**

El Modelo de Lodos Activados No. 1 (ASM1), es utilizado desde 1987 para la modelación dinámica de procesos biológicos, dedicado a describir la degradación de la materia orgánica, nitrificación y denitrificación. Los logros destacados de la utilización de este modelo fueron el consenso en los procesos que lo integran, la estandarización de símbolos, la presentación matricial del modelo, la propuesta de valores de inicio para los parámetros cinéticos, la adopción de la DQO fraccionada para caracterizar las aguas residuales y los lodos, y un código de programación para el desarrollo futuro de software de modelación, (Fall, et.al 2006).



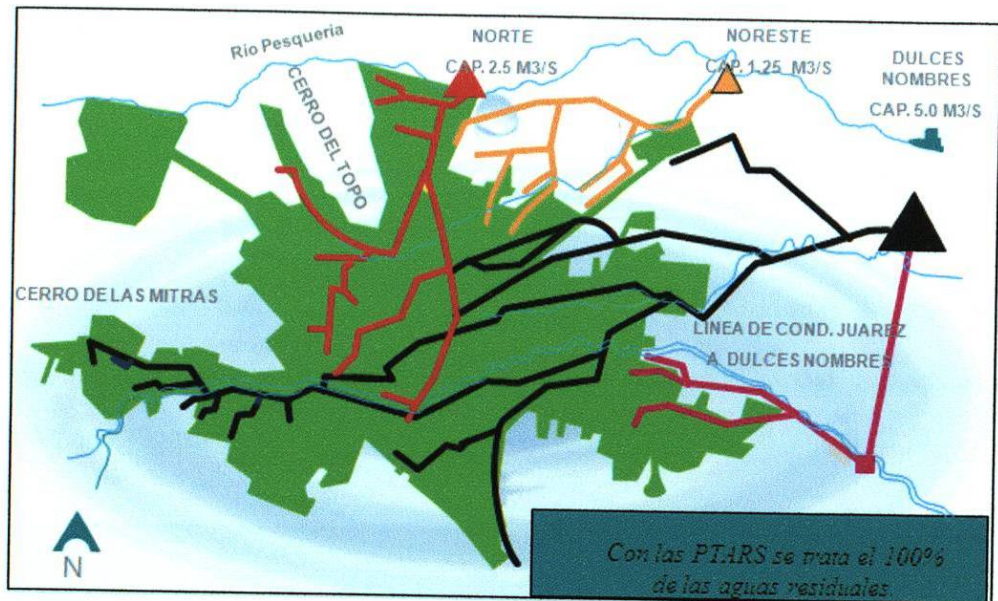
El presente trabajo de modelación se realiza en la planta “Dulces Nombres”, en virtud de tenerse en ella planes de incremento de capacidad, en sus instalaciones actuales, en un tiempo relativamente corto. Lo anterior crea la necesidad de contar con un soporte técnico adecuado para la toma de decisiones, que permita ampliar y/o mejorar su desempeño, lo cual se puede alcanzar a través de su modelación.

El primer paso será la implantación del modelo de lodos activados N°1 (ASM1), para lo cual se requiere de información detallada de las características (fracciones de DQO) del influente, el comportamiento hidrodinámico del reactor, las propiedades de sedimentación y la cinética de producción del lodo.

La presente investigación aborda la parte de la caracterización hidrodinámica de los reactores de la planta “Dulces Nombres”, como un paso previo al proyecto global de modelación del proceso de lodos activados.

### **1.3. Presentación de la planta de tratamiento “Dulces Nombres”.**

La Planta de tratamiento (PTAR) “Dulces Nombres”, forma parte del programa de Saneamiento del proyecto Monterrey IV, implementado por el Gobierno del Estado de Nuevo León a través de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., en el año 1993; el programa de Saneamiento consistió en la prolongación de colectores y emisores de la red de alcantarillado del Área Metropolitana de Monterrey, hasta en tres sitios comunes, donde fueron construidas las tres plantas de tratamiento de agua residual que contempló el programa de Saneamiento; en estas plantas se tratan las aguas residuales que colecta la red de drenaje sanitario del Área Metropolitana de Monterrey, que cuenta con mas de 3.2 millones de habitantes, ver Figura 1.



*Figura 1.- Sistema de Saneamiento del Área Metropolitana de Monterrey, N.L.*

La PTAR “Dulces Nombres”, es la más grande e importante de las tres construidas, pues cuenta con una capacidad para tratar un gasto promedio de 5,000 lps, es también la planta de tratamiento de mayor tamaño de la República Mexicana; porque cuenta con un proceso de tratamiento biológico de lodos activados en un nivel secundario, con desinfección del efluente; la PTAR inició operaciones en enero del año 1996, está construida en el Municipio de Pesquería, Nuevo León, sobre un terreno con superficie total de 136 Hectáreas y con dimensiones de 1,040 por 1,280 metros. La elevación del terreno es de 350 metros sobre el nivel medio del mar.

El diseño del proceso original de la PTAR “Dulces Nombres” (ver Figura 2), consideró un sistema de aireación mediante el proceso Unox, con oxígeno de alta pureza, generado en el sitio, en una planta criogénica de separación de aire (PSA), con cinco reactores biológicos con capacidad de 1,000 lps cada uno, con un volumen de almacenamiento de 19,120 m<sup>3</sup> para un tiempo de residencia hidráulico de 5.3 hrs; los reactores tienen 83.74 m de largo, 41.16 m de ancho y un tirante de agua de 5.55

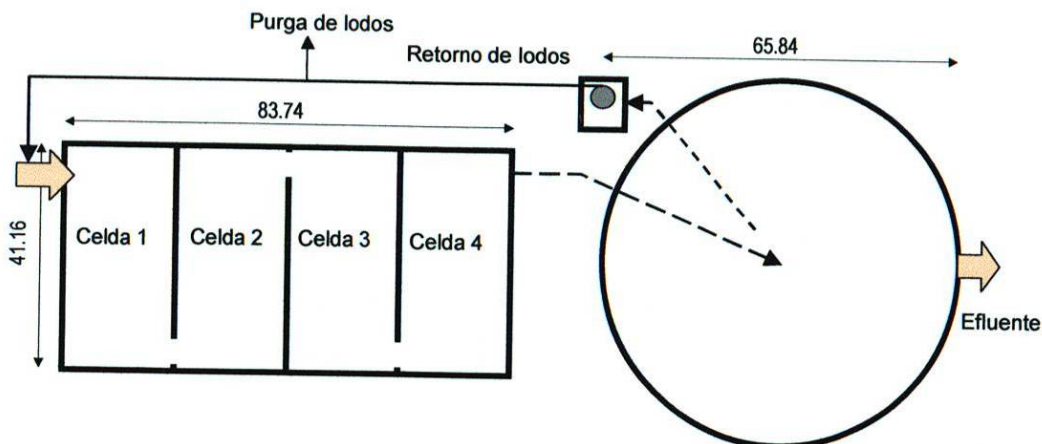


m, están divididos en su interior por cuatro celdas intercomunicadas. Este sistema de aireación, por problemas operativos del compresor principal de la planta de oxígeno y la necesidad de incorporar una unidad removedora de Oxido Nitroso muy costosa, fue sacado de operación en abril del año 2001 y remplazado por un sistema de aireación mediante difusores “tipo salchicha”, de burbuja fina y sopladores de aire del tipo centrifugo multietapa. Este sistema de aireación se encuentra actualmente en operación, ver Figura 3.



*Figura 2.- Vista panorámica de las unidades de proceso, planta Dulces Nombres*

A 12 años de haber iniciado operaciones, la PTAR “Dulces Nombres” recibe flujos por encima de su capacidad de diseño, por lo que se tiene previsto en el futuro cercano ampliar su capacidad de tratamiento actual, estimándose que en un período a futuro de 4 años (año 2012) el flujo mensual esperado será de aproximadamente 6,600 lps y el correspondiente a un período de 10 años (año 2018), de 7,600 lps.



*Figura 3.- Esquema del reactor biológico de la PTAR "Dulces Nombres"*

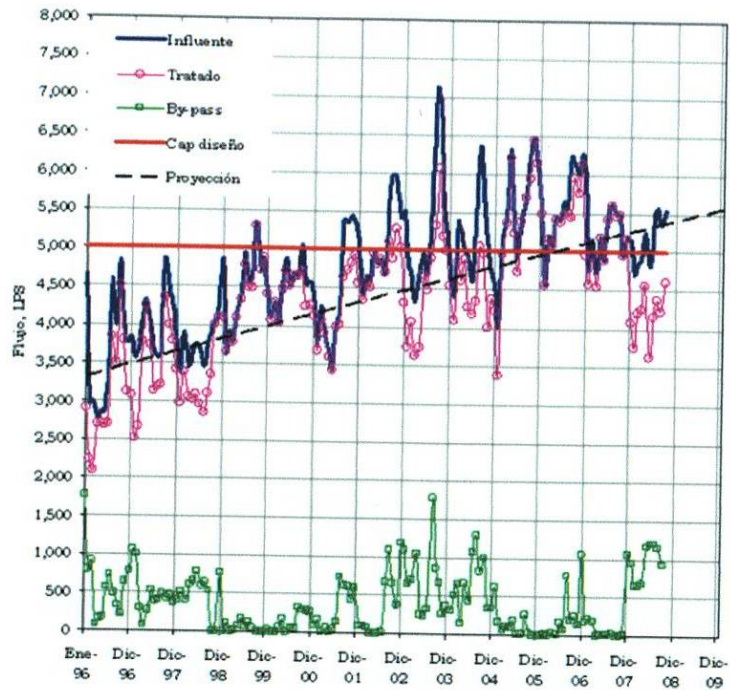
#### **1.4. Flujo histórico de la planta "Dulces Nombres".**

Se presenta una gráfica del perfil del flujo influente de la planta "Dulces Nombres" (Figura 4), en la cual se observa que la tendencia del flujo ha rebasado el promedio de diseño entre el año 2003. Lo anterior sin menoscabo de más incorporaciones de servicio a colonias, en la cuenca de esta planta.

#### **1.5. Descripción del problema.**

Ante el incremento del flujo de agua residual recibido en la PTAR "Dulces Nombres", se ha previsto iniciar los estudios correspondientes para desarrollar el proyecto ejecutivo de la ampliación de la planta; para ello, en primera instancia serán revisados los cálculos del diseño original de la PTAR, con el fin de determinar la factibilidad de incrementar la capacidad de tratamiento de las unidades de proceso existentes, sin que esto represente un riesgo de reducir las eficiencias operativas actuales.





*Figura 4.- Comportamiento del flujo de agua residual histórico*

Entre las unidades de proceso que serán revisadas se encuentran los reactores biológicos de la PTAR, por lo que se ha previsto el desarrollo de pruebas mediante la prueba de trazador y con ayuda de un programa de simulación comercial (AQUASIM®) lograr determinar con precisión la hidrodinámica de los reactores biológicos de la planta y la factibilidad del incremento de la capacidad de estas unidades de proceso, donde sea considerada la tasa de retorno de lodos.

### **1.6. Objetivo del trabajo.**

El objetivo principal de este trabajo es la obtención del modelo que describa la hidráulica del reactor de lodos activados, como una etapa intermedia para el proyecto ulterior de modelación del proceso de lodos activados con el modelo ASM1. El modelo a buscar debe ser capaz de predecir el efecto del retorno de lodos.

## **CAPÍTULO 2**

### **JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

#### **2.1. Justificación.**

La modelación de procesos biológicos es un instrumento para describir y verificar los procesos cinéticos que intervienen en el tratamiento biológico de agua residual, y una herramienta para predecir el comportamiento de los procesos, aplicable al diseño, evaluación y control de procesos de tratamiento. Entre sus mayores ventajas, se encuentra la disminución del costo de diseño, operación, mantenimiento y control de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), por constituirse en un medio de prevención de posibles problemas.

Los modelos de los procesos de tratamiento varían en su complejidad, según el número de componentes y procesos biológicos considerados; según se trate de modelos de estado estacionario o dinámico; y según que el reactor biológico se considere un dominio con concentraciones homogéneas o distribuidas en el espacio.

Hay que señalar que los modelos de estado estacionario suelen utilizarse para el diseño de plantas de tratamiento, mientras que los modelos dinámicos se utilizan más para evaluar el comportamiento de una planta ante situaciones históricas o futuras, y para el control de las plantas. En estos últimos modelos se describe el proceso biológico a través de un número de componentes del agua residual, que siguen

procesos biológicos de transformación, y cuya concentración se expresa a través de un sistema de ecuaciones diferenciales, que se obtienen mediante balances de materia de los diferentes componentes. En algunos casos hay que aplicar balances de energía y de cantidad de movimiento.

La modelación matemática de procesos biológicos se ha utilizando cada vez más en países de Europa y Norteamérica (Estados Unidos de América y Canadá); ya que una buena calibración del modelo, aunada al uso de algún simulador ambiental, representa una herramienta poderosa, capaz de predecir el comportamiento del proceso antes y durante su funcionamiento, siendo aplicable al diseño, evaluación, monitoreo y control de los procesos de tratamiento de agua residual. La modelación y simulación de plantas de tratamiento de agua residual en México no se aplica ampliamente, debido a la falta de interés y personal calificado; razón por la cual, es importante aumentar su uso para finalmente optimizar los procesos de tratamiento y reducir los costos de operación y diseño.

Para utilizar el modelo para lodos activados ASM1, no es suficiente considerar sólo la microbiología del proceso, también es necesario conocer el comportamiento hidráulico y las propiedades de sedimentación del lodo en el proceso. Un efluente tratado de buena calidad no sólo depende del reactor de lodos activados sino también del clarificador secundario, ya que la biomasa que escapa de ellos contribuye a la DQO del efluente entre un 50 y un 80%.

Por consiguiente, es necesario conocer el comportamiento hidrodinámico y las propiedades de sedimentación del lodo para lograr una mejor calibración del modelo a utilizar. De esta manera, es posible predecir el efecto de las perturbaciones medioambientales en el comportamiento del sistema.



## **2.2. Hipótesis**

“A un reactor de lodos activados, diseñado y construido por cuatro celdas a manera de flujo tipo pistón, es posible caracterizarlo como un modelo de “n” tanques en serie, completamente mezclados, con un bajo % de volumen muerto”.

La modelación de la planta “Dulces Nombres” permitirá obtener una adecuada descripción del comportamiento hidráulico del reactor de lodos activados, para utilizarlo en futuras aplicaciones de evaluación, control y optimización de la operación de estas unidades de proceso.

## **2.3. Objetivos.**

Como parte de los estudios preliminares para la ampliación de la capacidad de la PTAR Dulces Nombres, se realiza este trabajo para obtener el modelo que describa el funcionamiento hidráulico del reactor de lodos activados, como una etapa intermedia para el proyecto ulterior de modelación del proceso de lodos activados, para predecir el efecto del retorno de lodos, desarrollando las siguientes actividades:

- a) Realizar las pruebas de trazador en los reactores biológicos números 1 y 5
- b) Calibrar el modelo hidráulico de los reactores biológicos
- c) Investigar los efectos que pudieran afectar el funcionamiento del proceso de lodos activados.



## **CAPÍTULO 3**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Evaluación hidráulica de los reactores biológicos.**

La caracterización hidrodinámica es muy importante cuando se modela una planta para conocer el régimen de mezcla, donde pueden ser frecuentes cortocircuitos, zonas muertas y de mezcla inadecuada, aún cuando fueron diseñados como reactores ideales, (flujo tipo pistón o mezcla completa). La diferencia representa el grado de dispersión, que puede ser determinado a través de pruebas de trazador.

#### **3.2. Teoría básica.**

El comportamiento hidráulico en reactores no ideales puede ser evaluado a partir de la información sobre la distribución del tiempo de retención. El método tiene una aproximación estadística en el que las moléculas del fluido son "etiquetadas" en forma individual por medio de una técnica de estímulo-respuesta usando una sustancia trazadora. Luego se define una función de distribución para la fracción del fluido, saliendo con un "tiempo" mayor o menor que un tiempo predeterminado.

Las funciones de distribución más utilizadas son las curvas E (curva de distribución del tiempo) y F (curva adimensional acumulada). Con base en la curva que describe el cambio de concentración del trazador en el efluente se calculó la función

de distribución de la edad del trazador  $E(t)$ , que equivale a la curva normalizada del trazador en el efluente y es dada por la ecuación (Metcalf y Eddy, 2003):

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) * dt} \quad (3.1)$$

Donde:  $t =$  tiempo

$C(t) =$  concentración del trazador, función de  $t$

Definiendo  $\theta$  como el tiempo adimensional, se tiene (ec 3.2):

$$\theta = \frac{t}{\tau} \quad (3.2)$$

Donde:  $\tau =$  tiempo de retención hidráulico nominal  $= V/Q$

El tiempo promedio de retención ( $t_R$ ) que corresponde al centroide de la curva  $C(t)$  puede ser calculado tomando el cociente entre el primer momento de la curva con respecto al origen y el área bajo la curva, de la siguiente forma (ver ec 3.3):

$$t_R = \frac{\int_0^{\infty} t * C(t) * dt}{\int_0^{\infty} C(t) * dt} \quad (3.3)$$

O bien, a partir de la curva  $E(t)$  (ver ec 3.4):

$$t_R = \frac{\int_0^{\infty} t * E(t) * dt}{\int_0^{\infty} E(t) * dt} \quad (3.4)$$

La varianza  $\sigma^2$ , utilizada para caracterizar la dispersión está dada por la ecuación 3.5:

$$\sigma^2 = \frac{\int_0^{\infty} t^2 * C(t) * dt}{\int_0^{\infty} C(t) * dt} - t_R^2 \quad (3.5)$$

Existen dos métodos aplicables para modelar la hidrodinámica a partir de la prueba de trazador, el modelo de dispersión y el modelo de tanques de mezcla completa en serie.

Método de dispersión.- El balance de masa en el transporte de un trazador por advección y dispersión está dado por la siguiente ecuación (Metcalf y Eddy, 2003):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D * \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{\partial C}{\partial t} \quad (3.6)$$

Donde:      C =      concentración del trazador, mg/m<sup>3</sup>  
                  D =      coeficiente de dispersión axial, m<sup>2</sup>/h  
                  x =      distancia, m  
                  t =      tiempo, h

El coeficiente de dispersión D incluye el efecto de la turbulencia y la difusión molecular, lo que caracteriza al régimen hidráulico en un tanque. Su equivalente adimensional es el número de dispersión d, o su inverso, conocido como N° de Peclet (P) (ec's 3.7 y 3.8):

$$d = \frac{D}{u * L} \quad (3.7)$$

$$P = \frac{1}{d} = \frac{u * L}{D} \quad (3.8)$$

Para una inyección de pulso con baja dispersión axial, la solución a la ec. (3.1)

tiene la forma de expresión de distribución normal de probabilidad y resuelta por:

$$C_{\theta} = \frac{1}{2 * \sqrt{\pi * (D/u * L)}} * \exp\left[-\frac{(1-\theta)^2}{4 * (D/u * L)}\right] \quad (3.9)$$

Cuando la dispersión es grande, la solución de la ecuación 3.1 está dada por:

$$C_{\theta} = \frac{1}{2 * \sqrt{\pi * \theta * (D/u * L)}} * \exp\left[-\frac{(1-\theta)^2}{4 * \theta * (D/u * L)}\right] \quad (3.10)$$

Donde:  $C_{\theta}$  = respuesta normalizada del trazador (C/Co), adimensional

$\theta$  = tiempo normalizado (t/τ), adimensional

u = velocidad del agua en el tanque (L/), m/s

L = longitud característica del reactor, m

d = número adimensional de dispersión

El valor del módulo de dispersión (d) es un indicador del tipo de flujo que se presenta en un reactor (Figura 5), si éste es cero, se trata de un flujo tipo pistón ideal; si tiende a infinito, es una mezcla completa perfecta; valores intermedios se usan para caracterizar a los reactores no-ideales. La curva de trazador permite determinar el coeficiente de dispersión D y el número de dispersión d, (Metcalf y Eddy 2003), ver Tabla I.



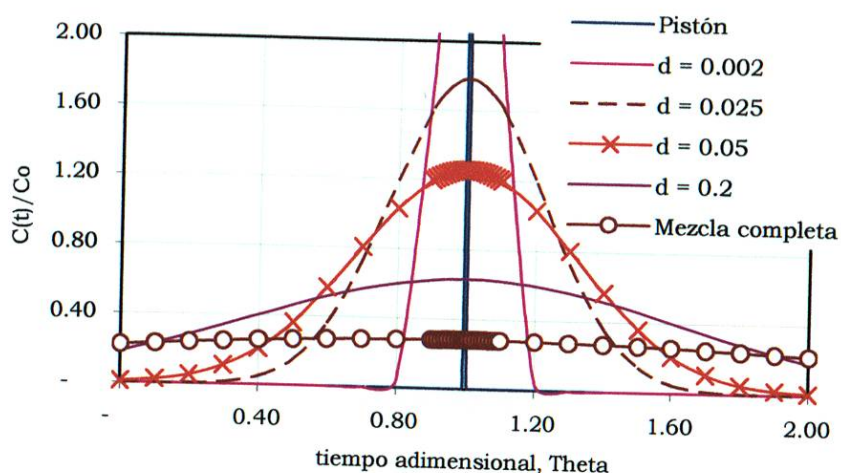


Figura 5.- Curva  $C(t)/C_o$  para distintos valores de ( $d$ )

Método de tanques en serie.- En el contexto de la caracterización hidráulica con el ASM1, el modelo de dispersión sólo permite clasificar al reactor de forma cualitativa, entre los extremos ideales de un reactor de mezcla completa y un reactor de flujo tipo pistón. El modelo de tanques en serie completamente mezclados será de mayor utilidad con el ASM1, ya que permite determinar la configuración de tanques que substituyen al reactor físico en el modelo virtual. Será útil modelar los reactores tipo pistón con dispersión axial con una serie de reactores de mezcla completa.

$d = 0$	Sin dispersión (reactor de flujo tipo pistón ideal)
$d < 0.05$	Nivel de dispersión bajo
$0.05 < d < 0.25$	Nivel de dispersión mediano
$d > 0.25$	Nivel de dispersión alto
$d = \infty$	Reactor de mezcla completa ideal

Tabla I.- Criterio para caracterizar, Metcalf y Eddy (2003)

Para obtener la curva de distribución del tiempo de residencia normalizada, se proponen las siguientes expresiones:

$$E(\theta) = \frac{(n * \theta)^{(n-1)}}{(n-1)!} * \exp(-n * \theta) \quad (3.11)$$

$$E(t) = \left( \frac{t^{(n-1)}}{t_R^n} \right) * \left( \frac{n^n}{(n-1)!} \right) * \exp\left( -\frac{n * t}{t_R} \right) \quad (3.12)$$

Donde:  $n$  = numero de tanques de mezcla completa en serie

$t_R$  = tiempo de retención (trazador)

$\theta$  = tiempo normalizado adimensional =  $t/t_R$

### 3.3. Aspectos relevantes de la prueba de trazador.

El diseño de una prueba de trazador puede dificultarse debido a la falta de conocimiento previo de la hidráulica, por consiguiente, no hay un procedimiento general recomendado. La cantidad necesaria de trazador y la frecuencia de muestreo es difícil de predecir sin efectuar algunos experimentos preliminares (Field, 2002; WEF y ASCE, 1998). Para la prueba, se seleccionó como trazador Rhodamina WT (Keystone Aniline Corp, 2002), uno de los tintes trazadores más usados para evaluar la hidrodinámica en reactores de lodos activados (Metcalf y Eddy 2003), por sus características ideales y facilidad para ser detectado, en concentraciones muy bajas, usando un fluorómetro. Adicionalmente, cuando se decide por una inyección de tipo pulso, se puede hacer una primera estimación dividiendo la masa de trazador por el volumen del reactor, para una concentración superior al límite de detección del instrumento (WEF y ASCE, 1998).

Lo anterior puede llegar a ser costoso y tomar mucho tiempo. Un método alternativo, como el que se evaluó para este trabajo, consiste en realizar una pre-simulación, basado en una configuración real del modelo de la planta.

El objetivo buscado en la planta estudiada con el ASM1, fue calibrar la hidrodinámica de dos de los cinco tanques de aeración de lodos activados (Reactor 1 y 5), con base en las pruebas del trazador y en el uso del simulador AQUASIM®.

La planta “Dulces Nombres”, desde que su puesta en marcha en 1996, ha experimentado un cambio radical en el sistema de aeración. Las pruebas se hicieron sobre los reactores 1 y 5 únicamente, ya que el reactor 5 está segregado junto con el secundario 2. Para evaluar el comportamiento hidráulico se utilizó como trazador Rhodamina WT, sustancia escogida para no alterar o perturbar el patrón de flujo normal dentro de los reactores y por ser no biodegradable, tampoco es adsorbida por los biosólidos y es un elemento de poca interacción con el manto de lodos (Metcalf y Eddy, 2003).

Para el ensayo se aplicó una dosis instantánea de una solución preparada a partir de Keyacid Rhodamine WT Liquid, en las zonas de entrada, la concentración certificada de 21.38% y gravedad específica 1.15, a 20°C, la viscosidad menor que 125 poise a 25°C, código de producto 703-010-27 (Keystone Aniline Corp, 2002). Ver Figura 6.

La dilución preparada para cada reactor fue de 16 litros, usando 5,000 ml de la solución concentrada, equivalentes a 1,225 g de Rhodamina WT. La toma de muestras se inició inmediatamente después de hacer la aplicación del trazador y se extendió hasta un período de 2 a 3 veces el tiempo teórico de retención. Las muestras fueron preservadas en el cuarto frío, luego decantadas y filtradas a 0.45  $\mu\text{m}$ . El volumen de cada muestra fue de unos 100-200 ml.





*Figura 6- Botes de Rhodamina WT utilizados en las pruebas de trazador*

## **CAPÍTULO 4**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **4.1. Visita a la PTAR “Dulces Nombres”**

En este capítulo serán descritas las actividades que fueron realizadas durante el programa de modelación del que fue objeto de estudio la PTAR “Dulces Nombres”, con el fin de cumplir los objetivos planteados.

Para iniciar los trabajos del estudio se realizó una visita a la PTAR “Dulces Nombres”, con la finalidad de platicar con el personal responsable de su operación y solicitar la entrega de los planos de la planta. Se realizó un recorrido físico con el fin de conocer las condiciones de operación actuales, para elaborar un esquema del proceso secundario actualizado.

Con el apoyo del personal responsable de la operación de la planta y la revisión de los planos se logró determinar los procedimientos actuales de operación, así como los niveles de los indicadores a tomar en cuenta en el desarrollo del modelo a realizar. Se determinó también la conveniencia de que a la hora de realizar la prueba del trazador se llevara a efecto una campaña de medición de flujo que permitiera obtener caudales reales de operación de la planta.

Para seleccionar el punto adecuado para la adición de la Rhodamina WT fueron verificados distintos lugares; acordándose, de manera coordinada, que el sitio ideal

para su adición sería la estación de distribución de recirculación de lodos (ERL) ubicada contigua a los reactores biológicos de la planta.

#### **4.2. Pre-simulación del proceso hidráulico en AQUASIM.**

Basado en la información recabada en el campo y con la ayuda del simulador ambiental AQUASIM<sup>®</sup> se desarrolló un modelo para realizar la pre-simulación de la prueba de trazador.

El objetivo principal del modelo era determinar la cantidad de rodamina WT al 20% de ingrediente activo que se debería aplicar en los reactores biológicos para determinar si estos funcionaban en flujo pistón, tal como fueron diseñados; otra condición que se buscó en la pre simulación era la de garantizar que el efluente descargado por la planta al río Pesquería fuera tal que no ocasionara una alerta entre los pobladores de la zona aledaña a la descarga, por la coloración del agua descargada al mezclarse con el tinte del trazador.

Para cumplir las expectativas anteriores se determinó que una concentración de rodamina WT menor de 100  $\mu\text{g/L}$  en el agua descargada por los reactores biológicos permitiría que el agua efluente vertida en el río Pesquería se diluyera hasta niveles por debajo de 1  $\mu\text{g/L}$ , concentración que es prácticamente imperceptible al sentido de la vista humana. Otra información importante que fue obtenida de la pre-simulación fue la de la estimación del periodo de duración de la prueba y la frecuencia de muestreo que se debía realizar al momento de realizar la prueba del trazador.

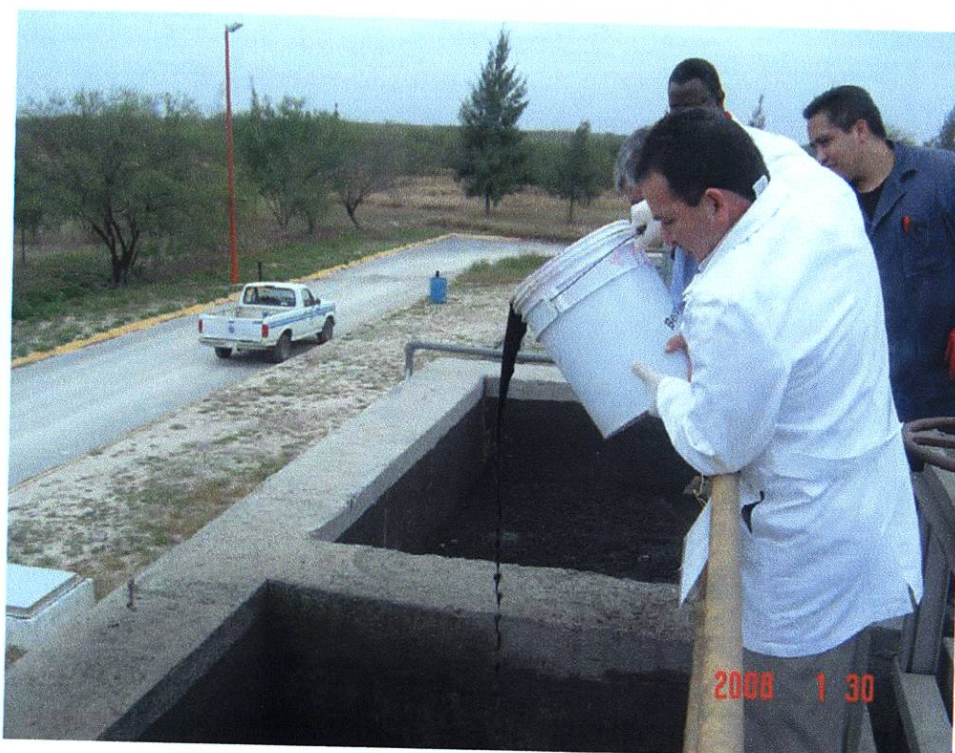


### **4.3. Prueba de trazador con Rhodamina WT**

En virtud de que la planta “Dulces Nombres” trata un gasto de agua residual demasiado grande, la forma de adicionar la Rhodamina WT fue mediante pulso; se adicionaron 8 litros de Rhodamina WT diluidos en 10 litros de agua de la planta; con estas cantidades de Rhodamina WT se esperaba tener concentraciones en el efluente del reactor biológico de alrededor de 70  $\mu\text{g/L}$ .

Como fue señalado anteriormente la adición del volumen de la Rhodamina WT para garantizar su mezclado adecuado se realizó en la estación de recirculación de lodos (ERL). La adición de la Rhodamina WT se realizó en dos de los cinco reactores biológicos con que cuenta la planta, el reactor biológico N° 1 (R1) que cuenta con características de operación similares a los reactores biológicos N° 2, 3 y 4 y la adición de Rhodamina WT al reactor biológico N° 5 (R5) el cual opera de manera independiente de los otros cuatro reactores biológicos; con estas condiciones se podrán obtener dos diferentes resultados que nos darán la oportunidad de evaluar en las condiciones operativas más adecuadas entre ambos.

La prueba con trazador con Rhodamina WT en los reactores biológicos de la planta “Dulces Nombres” tuvo una duración aproximada de 20 horas iniciando la prueba a las 13:30 horas. El programa de muestreo consistió en la toma de 54 muestras de 500 ml de licor mezclado para cada reactor biológico en el canal común de descarga. Este volumen fue suficiente, considerando que la medición del perfil de concentración de Rhodamina WT fue medido en el laboratorio de la PTAR con el fluorómetro Aquaflour<sub>TM</sub>.



*Figura 7.- Adición del volumen de Rhodamina WT en estación de recirculación de lodos*

La calibración del fluorómetro se realizó mediante la preparación de una solución estándar, misma que fue preparada con el sobrendadante del licor mixto, efluente de cada uno de los reactores monitoreados.

Cabe destacar que el programa de medición de caudales y la toma de muestras durante la prueba de trazador con Rhodamina WT fueron llevados a cabo con el apoyo de los operadores de la planta, en distintos horarios.





*Figura 8. Muestreo del licor mezclado en el canal común de reactores biológicos*

#### **4.4. Calibración del modelo hidráulico.**

Tomando como punto de partida los resultados de la prueba de trazador, se procedió a ajustar el modelo generado en el simulador AQUASIM<sup>®</sup>, durante la etapa de pre simulación de acuerdo con el punto 3.2. Fueron introducidos al simulador AQUASIM<sup>®</sup> los resultados reales de los gastos medidos el día de la prueba y se corrigieron los volúmenes de Rhodamina WT utilizados durante la etapa de pre simulación, tomando en cuenta las pérdidas existentes en el recipiente utilizado en la inyección de la Rhodamina WT.



## **CAPÍTULO 5**

### **RESULTADOS.**

#### **5.1. Pre-simulación del proceso hidráulico en AQUASIM.**

Como fue señalado anteriormente, durante la etapa de pre simulación se logró determinar la cantidad de Rhodamina WT a utilizar mediante la prueba de trazador; así mismo, fueron establecidas también la frecuencia de los muestreos y la duración de la prueba.

#### **5.2. Definición del funcionamiento real del tratamiento.**

Durante esta fase fue realizado un esquema de proceso en el que se muestra la distribución de las líneas de flujo del proceso (influyente, efluente, recirculación y purga de lodos); también se incluyen en el esquema de distribución las características de los reactores biológicos y de los clarificadores secundarios, tal como se señala en la Figura 9.

El proceso de tratamiento de la planta "Dulces Nombres" está constituido por 5 reactores biológicos, divididos en cuatro celdas, intercomunicados cada uno de ellos; existe un canal común que recolecta el licor efluente de los reactores biológicos 1 a 4 y un canal colector efluente exclusivo para el reactor biológico N° 5. Existen seis clarificadores secundarios de los cuales el clarificador secundario N° 2 es de uso

exclusivo para el reactor biológico N° 5; los clarificadores secundarios restantes son utilizados para la sedimentación de licor effluente de los reactores biológicos N° 1 a 4.

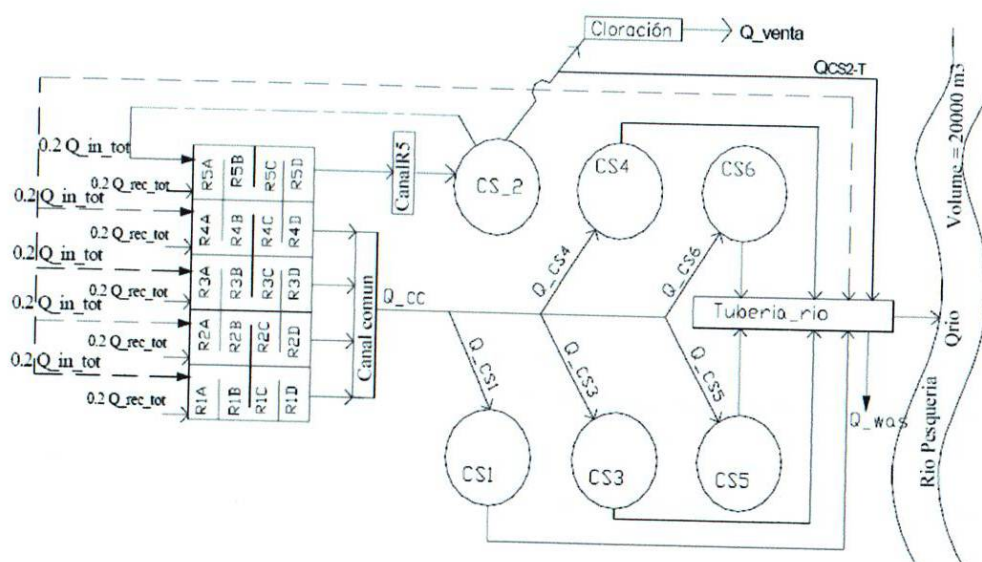


Figura 9.- Esquema descriptivo del funcionamiento del tratamiento secundario.

Los efluentes de los clarificadores secundarios N° 1, 3, 4, 5 y 6 son encauzados a una línea de conducción que descarga en el río Pesquería; una parte importante del efluente del secundario N° 2 es enviado para reúso, mediante bombeo, a una empresa de generación de energía eléctrica, y los excedentes del efluente de este clarificador son derivados a la línea de conducción hacia el río Pesquería y se unen con el efluente de los restantes clarificadores secundarios.

### 5.3. Verificación de la operatividad de los medidores de flujo.

Con el fin de constatar que los medidores de flujo instalados en la planta operaban adecuadamente, en conjunto con el personal operativo se realizó una campaña para verificar su operatividad; y se logró determinar, durante esta campaña, que algunos medidores de flujo no se encontraban calibrados y otros no operaban adecuadamente;



recurriendo para ello a efectuar aforos con ayuda del trazador en forma de escalón positivo, bajo la siguiente relación:

$$Q_{\text{TRAZADOR}} * C_{\text{TRAZADOR}} = Q_{\text{TOTAL}} * C_{\text{TOTAL}}$$

Donde:

- $Q_{\text{TRAZADOR}}$  = Flujo del trazador medido en bomba dosificadora
- $C_{\text{TRAZADOR}}$  = Concentración del tinte trazador
- $Q_{\text{TOTAL}}$  = Caudal en el punto de interés
- $C_{\text{TOTAL}}$  = Concentración de trazador en el flujo total

#### 5.4. Determinación de parámetros nominales de operación y diseño.

En esta etapa fueron analizados los niveles mediante los cuales es operada la planta "Dulces Nombres", para compararlos contra los de su diseño en lo que respecta a los caudales de influente de los reactores biológicos, las tasas de recirculación de lodo y la purga del mismo. Se determinaron también los volúmenes de los reactores biológicos de los clarificadores secundarios y los de los canales de conducción involucrados en el proceso. Los datos obtenidos se mencionan en la Tabla II.

Símbolo	Descripción	Valor	Tipo de Valor
$Q_{in\_tot}$	Tasa de flujo del influente total (5 reactores)	18,000 m <sup>3</sup> /h	Diseño
$Q_{rec\_tot}$	Tasa de flujo de retorno total de lodo	0.5* $Q_{in\_tot}$ m <sup>3</sup> /h	Operación
$Q_{rio}$	Tasa de flujo del río	17352 m <sup>3</sup> /h	Operación
$Q_{wasR1-4}$	Tasa de purga de lodo para los reactores 1,2,3 y 4	290 m <sup>3</sup> /h	Operación
$Q_{wasR5}$	Tasa de purga de lodo para el reactor 5	58 m <sup>3</sup> /h	Operación
$Q_{venta}$	Tasa de flujo de agua para venta	1080 m <sup>3</sup> /h	Operación
$V_R$	Volumen total para cada uno de los reactores	19,120 m <sup>3</sup>	Diseño
$V_{comp}$	Volumen de cada compartimiento	4,780 m <sup>3</sup>	Diseño
$V_{CS.}$	Volumen total de cada clarificador secundario.	15,635 m <sup>3</sup>	Diseño
$V_{rio}$	Volumen del río	20,000 m <sup>3</sup>	Operación
$V_{canal\ común}$	Volumen del canal común para los reactores 1 a 4	200 m <sup>3</sup>	Diseño
$V_{canal\ para\ R5}$	Volumen del colector para el reactor 5	50 m <sup>3</sup>	Diseño
$Frac_{Q_{in\_tot}}$	Fracción del influente a cada reactor	0.2* $Q_{in\_tot}$	Diseño
$Frac_{Q_{rec}}$	Fracción del lodo recirculado a cada reactor	0.2* $Q_{rec\_tot}$	Operación

Tabla II.- Parámetros de operación y diseño nominales.



### 5.5. Implantación del modelo del proceso simulador.

En esta etapa fueron desarrollados dos modelos de simulación: uno para ser utilizado para el reactor biológico No. 5 que funciona independiente, y el otro modelo para ser utilizado en el reactor biológico No. 1 que es similar a los reactores biológicos No. 2, 3 y 4. Los modelos desarrollados fueron creados mediante el criterio de un modelo de tanques en serie que simula un reactor tipo pistón, utilizando la ecuación (Metcalf y Eddy, 2003):

$$E(t) = \frac{t^{n-1}}{(n-1)! \tau^n} * \text{Exp}\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (5.1)$$

### 5.6. Cálculo de los parámetros necesarios para la prueba de trazador.

Con los modelos desarrollados se logró determinar los siguientes parámetros por utilizar en la prueba de trazador:

- Volumen de Rhodamina WT por agregar,
- Duración de la prueba de trazador, y
- Frecuencia optima de muestreo

a) Volumen de Rhodamina WT por agregar. - Fue determinada en función de la concentración detectable por los equipos de fluorometría que es de 500 ppm de ingrediente activo. La ecuación (5.2) muestra la relación utilizada como función de inyección para la Rhodamina WT.

$$F_{\text{masico}} = \left\{ \frac{V_{\text{aplic\_mod}} * C_{\text{rod\_comer}}}{1,000 * \frac{t_{\text{aplic\_rod}}}{60}} \right\} \quad (5.2)$$

Donde:

$F_{\text{másico}}$ , es la velocidad a la que se inyectó el trazador,

$V_{\text{aplic\_rod}}$  es el volumen de Rhodamina WT a utilizar,

$L$ ;  $C_{\text{rod\_comer}}$ , es la concentración de la Rhodamina WT;

$t_{\text{aplic\_rod}}$ , es el tiempo de aplicación del trazador y,

Los valores 1000 y 60 son factores de conversión de mg a g y min. a hrs. respectivamente.

Como se puede observar en la ecuación (5.2) se utiliza el volumen de trazador como parámetro, mismo que es modificado dentro del modelo implantado para variar el flujo másico de Rhodamina WT y con ello la concentración en el último compartimiento de los reactores en que se realizó la prueba de trazador.

Tal como se muestra en la Figura 10, para los casos en que el volumen de Rhodamina WT es de 10, 8 y 6, se obtienen respuestas adecuadas; sin embargo, debido a la incertidumbre que existe cuando se presenta el caudal básico real, utilizar 10 l implicaría cierto error; ya que, con el caudal de diseño, la concentración máxima a la salida sería muy cercana a la sugerida por la EPA como máxima permisible (EPA, 1998); la mejor opción fue la de 8 l, ya que los grados de libertad que se obtuvieron fueron mayores que en el caso de 10 l y para el caso de 6 l existía la posibilidad de obtener concentraciones muy bajas donde el caudal total fuera mínimo, esta última opción tampoco fue seleccionada.

- b) Duración de la prueba de trazador. - Fue establecida en función de la curva de concentración de Rhodamina WT, obtenida para 8 l; para ello fue tomada en cuenta la recomendación de Petersen et.al., (2002) acerca de la duración de la prueba, ya que ésta debía ser de por lo menos 2 ó 3 veces el tiempo de

retención hidráulica. En caso de la PTAR “Dulces Nombres”, el tiempo de retención hidráulica de diseño es de aproximadamente 5.3 hrs.

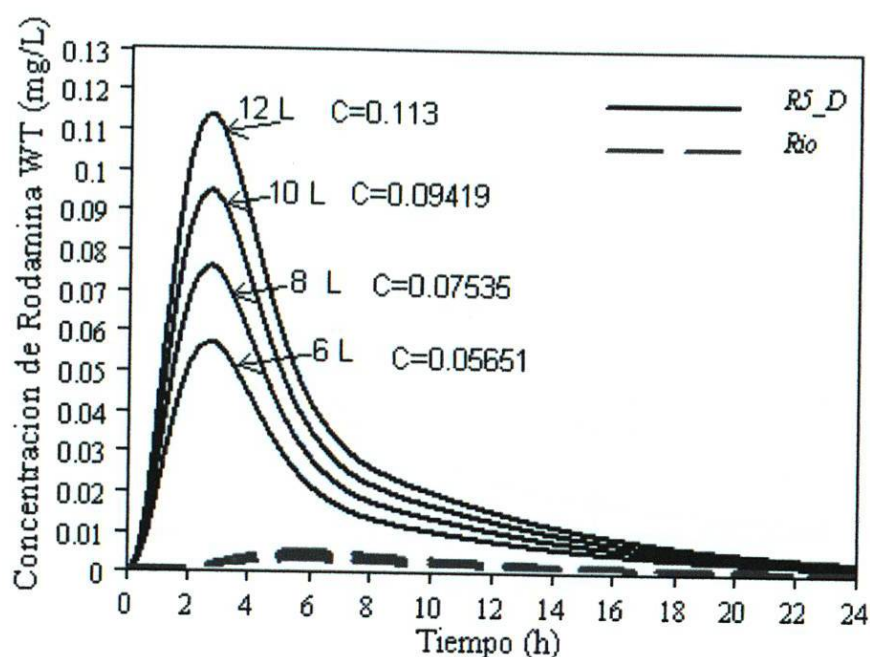


Figura 10.- Curvas de respuesta a para diferentes volúmenes de Rhodamina WT

Sin embargo, como se puede observar en la Figura 11, para un tiempo de retención hidráulica de 15.9 hrs. (3 veces el tiempo de retención de la PTAR) la concentración de Rhodamina WT aun sigue siendo relativamente alta, en relación con la concentración que se espera en el punto de descarga al río (línea punteada); por tal razón se eligió una duración de 24 hrs. (casi 5 veces el tiempo de retención). Con este tiempo se tuvo una concentración máxima de 0.00158 mg/l (menor que la del río).

- c) Frecuencia óptima de muestreo.- Tomando de referencia la curva de respuesta obtenida (Figura 12), se optó por dividir la frecuencia de muestreo en tres fases:



- a) La primer fase permitió obtener una buena definición del punto de máxima concentración. Por esta razón se estableció una frecuencia de muestreo de 6 hrs. a cada 10 min.

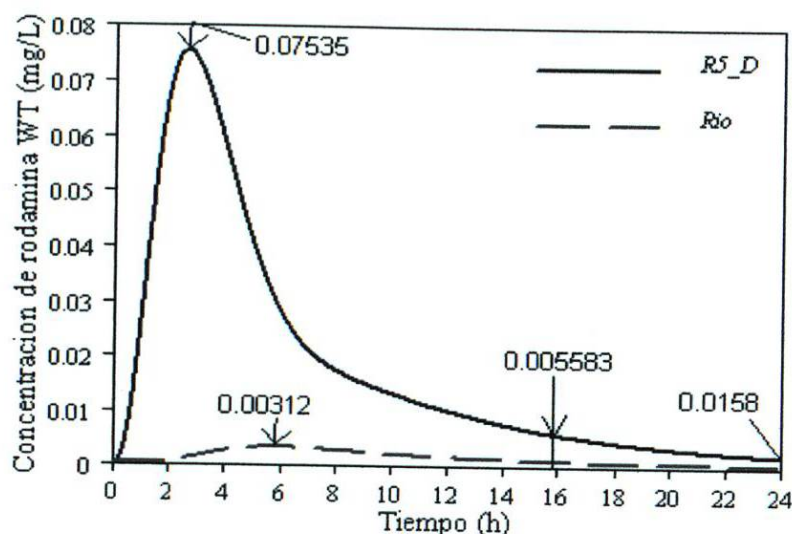


Figura 11.- Curva de repuesta a un volumen de 8 l de Rhodamina WT.

- b) La segunda fase fue condicionante de que las muestras recolectadas permitieran observar el punto de inflexión del decremento de la concentración de Rhodamina WT. Para esto se estableció una frecuencia de muestreo de 2.5 hrs. a cada 0.5 hrs.
- c) La tercera fase consistió en realizar el muestreo a cada hora, en virtud de que la velocidad de decremento de concentración era relativamente lenta.

Como se puede observar en la Figura 12, las curvas de respuesta para los reactores biológicos N° 1 y 5 son muy parecidas, por lo que los resultados obtenidos para el reactor biológico No. 5 son aplicables también para el reactor biológico N° 1, en lo que a duración y frecuencia de muestreo se refiere. El volumen requerido de la muestra fue establecido a 500 ml. Este volumen se determinó en función de la

cantidad de muestra requerida por el fluorómetro utilizado (Aquafluor) que fue de 4 ml; sin embargo, considerando que la muestra fue licor mezclado y que únicamente se requería el sobrenadante, se justificó la necesidad de los 500 ml de muestra.

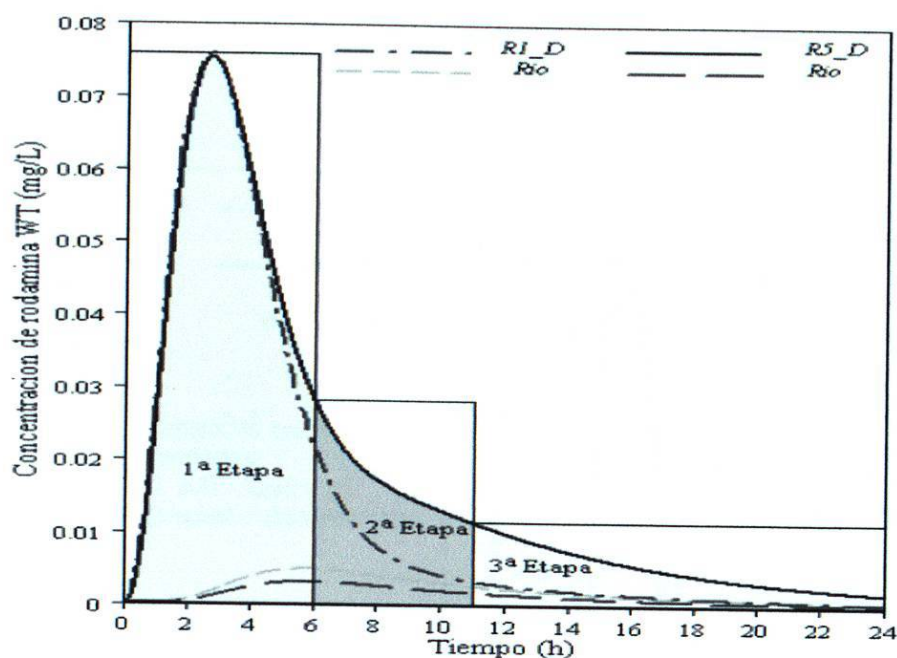


Figura 12.- Distribución de frecuencia de muestreo, aplicada a los dos reactores.

### 5.7. Prueba de trazador con Rhodamina WT.

La prueba de trazador fue desarrollada en los reactores biológicos números 1 y 5 de manera simultánea. Se obtuvieron un total de 54 muestras para cada reactor. Se dejó sedimentar las muestras para tomar el sobrenadante del licor mezclado. La medición de la concentración de Rhodamina WT, es por medio de fluorescencia, y siendo que ésta se ve afectada por la temperatura (al incrementarse disminuye la fluorescencia, 2.6%/°C para la Rhodamina WT), entonces fue necesario asegurarse de

que todas las muestra tuvieran la misma temperatura, misma que fue de 24°C. El equipo utilizado para esta medición fue el AquaFluor<sup>TM</sup>.

En la Figura 13 se presenta la curva de concentraciones de Rodamina WT, obtenida con la pre simulación, así como la generada por los datos reales de los reactores biológicos No. 1 (izquierda) y 5 (derecha).

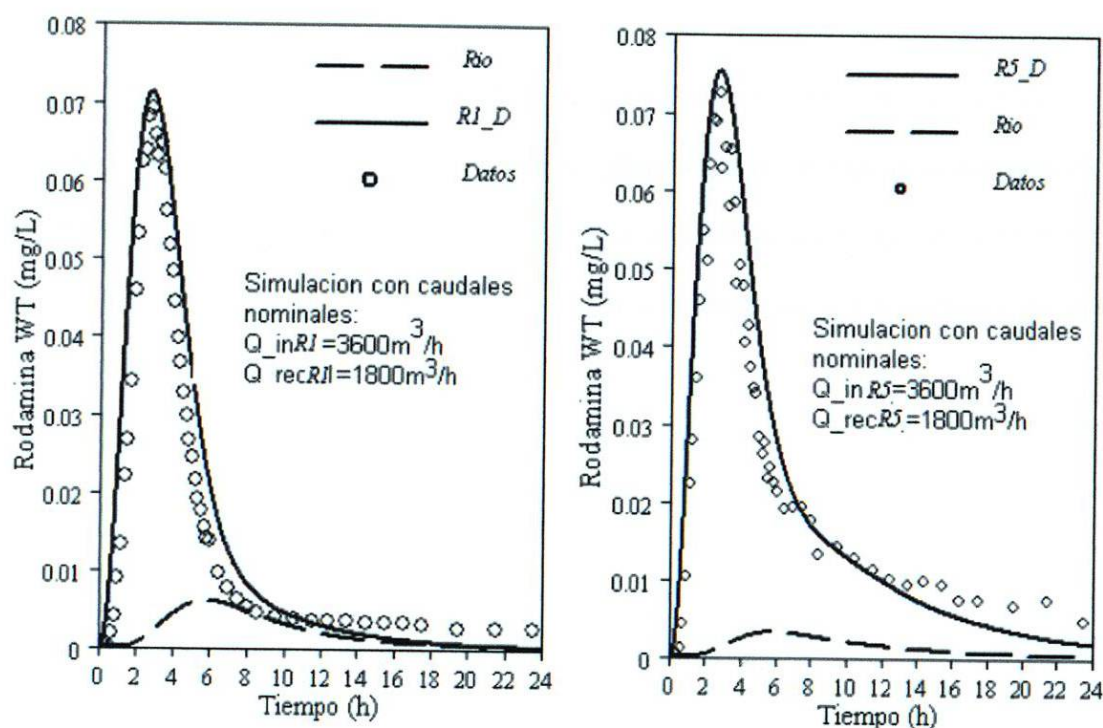


Figura 13.- Curva de concentración de rodamina WT.

La varianza ( $\sigma^2$ ) obtenida para la serie de datos del reactor 1 es de 0.00053679 con una media de 0.02346889, y para el reactor 5 es de 0.00048147 con media de 0.02812202, lo cual confirma los buenos resultados obtenidos al suponer un modelo de 4 tanques colocados en serie. La varianza de cada serie de datos confirmó lo que a simple vista se pudo observar.



### 5.8. Calibración del modelo hidráulico.

Para lograr obtener el modelo más adecuado que describiera el funcionamiento hidráulico de los reactores biológicos, se implementaron los parámetros operacionales correspondientes al flujo influente en cada reactor biológico, la tasa de recirculación y la purga de lodos promedio con que opera cada uno de los reactores biológicos estudiados (reactores biológicos números 1 y 5). Cabe destacar que debido a que el canal del licor mezclado es alimentado gradualmente por los reactores, el flujo es variable en todo momento por lo que se presentó dificultad en la instalación y calibración de los medidores de flujo para el influente total, el del efluente para cada uno de los reactores biológicos y el de la tasa de recirculación. En la tabla 5.2, se señalan los datos de los caudales promedio considerados de los medidores de flujo, así como el tiempo real de inyección del trazador.

Símbolo	Descripción	Valor
Q_in_R1	Tasa de flujo promedio del influente al reactor 1	2288.41 m <sup>3</sup> /h
Q_recR1	Tasa promedio de recirculación para cada reactor; R1, R2, R3 y R4	2462.4 m <sup>3</sup> /h
Q_wasR1	Tasa de purga de lodo para cada reactor; 1, 2, 3 y 4	50 m <sup>3</sup> /h
Q_aplic_rod	Tiempo de inyección del trazador	0.2108 min.
Q_inR5	Tasa de flujo promedio del influente al reactor 5	2048.04 m <sup>3</sup> /h
Q_recR5	Tasa promedio de recirculación para el reactor; R5	2286.62 m <sup>3</sup> /h
Q_wasR5	Tasa de purga de lodos para cada reactor; 1, 2, 3 y 4	50 m <sup>3</sup> /h

*Tabla III.- Caudales obtenidos de los medidores de flujo.*

El ajuste obtenido al utilizar los datos de caudales de la Tabla III no fue el adecuado, tal como se muestra en la Figura 14, que representa la curva de ajuste para el modelo de los reactores biológicos números 1 y 5. Esto comprueba que por lo menos uno de los datos de los caudales, obtenidos a partir de los medidores de flujo, se aleja considerablemente del valor real; sin embargo, se tiene la incertidumbre en cuanto a cuál de ellos sería el correcto.

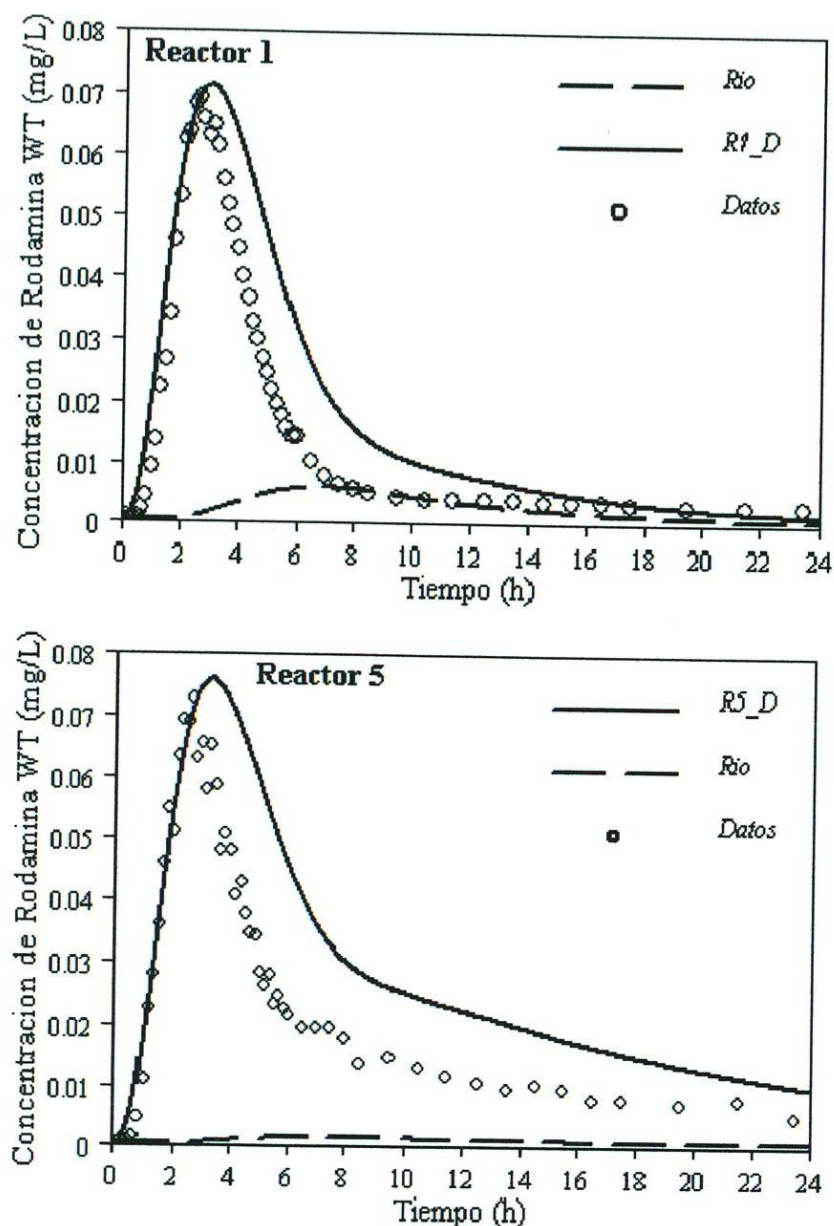


Figura 14.- Simulación con 4 tanques en serie, utilizando caudales medidos.

En la Figura 14 se puede observar que, al utilizar los datos de caudales medidos, el modelo se distorsiona de una manera mayor, en comparación con el ajuste que se tiene si se usan los datos nominales.

Tomando en cuenta los problemas derivados de la falta de datos precisos de caudales, se optó por determinar el caudal influente a cada reactor biológico, a partir

del cálculo del tipo de retención media "Tmean", generando una curva de distribución de tiempos de residencia a partir de los datos experimentales. Puesto que los valores experimentales de concentración del trazador no se encuentran demasiado dispersos, de acuerdo con la forma esperada (función de pulso), se tuvo la seguridad de que el caudal influente al reactor biológico números 1 y 5 calculados, serían muy aproximados a los de operación, esta hipótesis se valoró una vez que fueron implementados los caudales en el modelo correspondiente.

En la Figura 15 se muestra la curva E, correspondiente a la distribución de las tiempos de residencia.

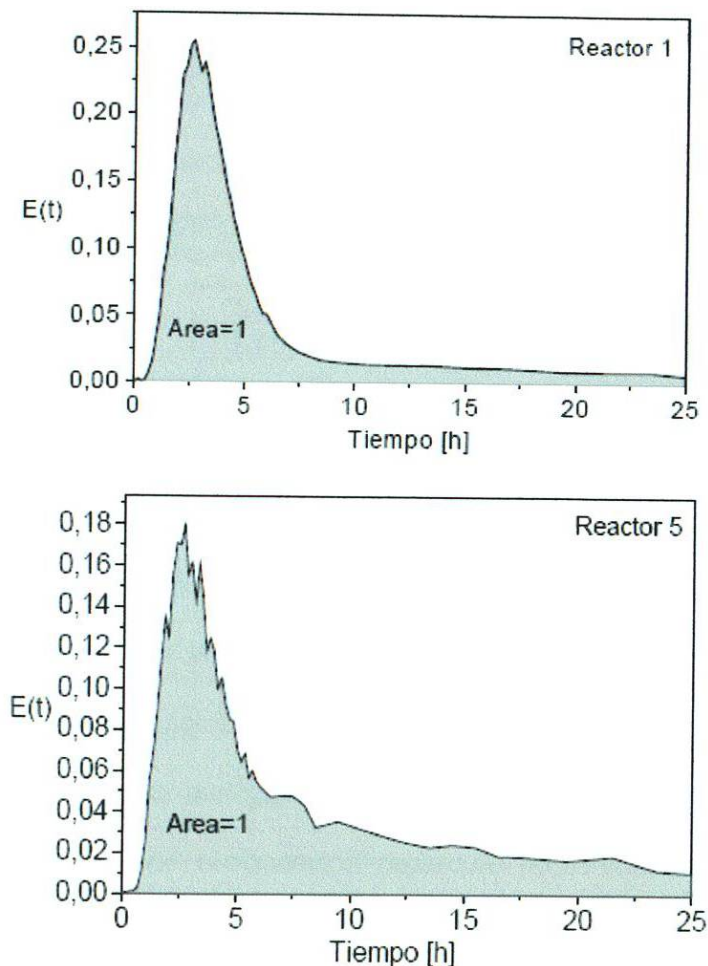


Figura 15.- Distribución de los tiempos de residencia para los reactores 1 y 5.



A continuación, se calculó el tiempo de retención medio ( $T_{mean}$ ), y se procedió a calcular el caudal influente a cada reactor biológico, en función del volumen de cada celda de cada reactor y para el reactor completo, los resultados se resumen en la Tabla 5.3. Nótese que, para este caso, el " $T_{mean}$ ", es igual a  $t$ ; por otra parte, el hecho de que el área bajo la curva de la Figura 16 resulte igual a la unidad, es un indicativo de que no existieron pérdidas de trazador.

Con los datos de  $Q_{in}$  para cada reactor biológico fue posible simular los valores de  $Q_{rec}$  más adecuados para un modelo de 4 tanques en serie. El ajuste, para el caso del reactor biológico No. 1 fue bueno, al utilizar el caudal calculado con base al " $T_{mean}$ "; sin embargo, para el reactor biológico No. 5, el ajuste no es el adecuado (ver Tabla IV y figura 17).

	V <sub>total</sub> por cada reactor m <sup>3</sup>	T <sub>mean</sub> , h	Q <sub>in</sub> Calculado m <sup>3</sup> /h	Q <sub>rec</sub> Simulado m <sup>3</sup> /h
R1	19120.00	5.865	3260.017	2389.96
R5	19120.00	7.966	2400.201	3447.3

*Tabla IV.- Caudal influente para los reactores 1 y 5.*

Al momento de comparar las tasas de recirculación simuladas para ambos reactores biológicos con los valores obtenidos de los medidores de flujo, se observó que para el caso del reactor biológico No.1, la variación es de tan sólo un 3 %, mientras que para el reactor biológico No. 5, es de hasta el 50 %. En este último caso se observa que la tasa de recirculación repercute notablemente en la curva de respuesta, esto como consecuencia de la forma en que opera este reactor (el licor recirculado no se mezcla con el del resto de los reactores), lo cual permitió tomar la

decisión de fijar la tasa de recirculación obtenida de los medidores de flujo, para poder calcular el caudal influente a cada reactor biológico, mediante simulación.

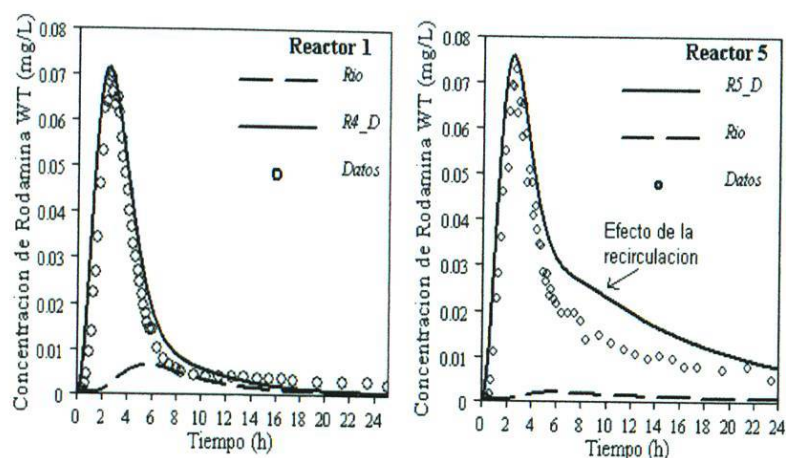


Figura 16.- Simulación de las curvas de respuesta, con los “ $Q_{in}$ ” calculados.

En la Tabla V, se presentan los resultados obtenidos al utilizar la tasa de recirculación promedio de los medidores de flujo, en la determinación del caudal influente. En ella se puede observar que el caudal influente para el reactor biológico No.1 no varía considerablemente, en comparación con el calculado a partir del “ $T_{mean}$ ”. En la Figura 17, se muestran las curvas de ajuste obtenidas, mismas que validan la confiabilidad de los caudales simulados.

	$V_{total}$ por cada reactor $m^3$	$Q_{in}$ Calc, $m^3/h$	$Q_{in}$ Sim, $m^3/h$	$Q_{rec}$ Med, $m^3/h$	$T_{mean}$ , h	$\pi$ , h
R1	19120.00	3260.017	3233.3	2462.4	5.865	5.311
R5	19120.00	2400.201	3561.5	2286	7.966	5.311

Tabla V.- Información de caudal para los reactores 1 y 5.

Debido a la similitud de los tiempos de residencia media y nominal, se permitió establecer que el comportamiento de los reactores biológicos es flujo pistón, además de que no existe cortocircuito o espacios muertos considerables, específicamente para



el reactor 5. Para validar esta suposición, en relación con la posibilidad de utilizar “ $Q_{rec}$ ” para determinar “ $Q_{in}$ ”, se realizó un análisis de sensibilidad (Figura 18), a partir del cual se determinó que el valor del caudal de purga de lodos no era determinante para el modelo, y que los realmente importantes eran: el caudal influente y el de la recirculación.

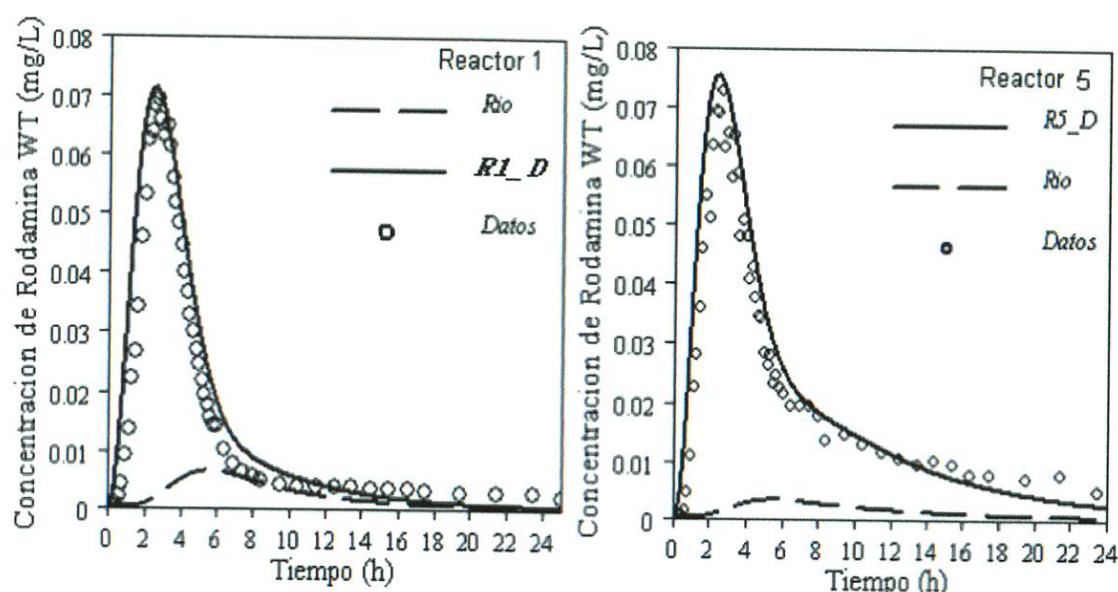
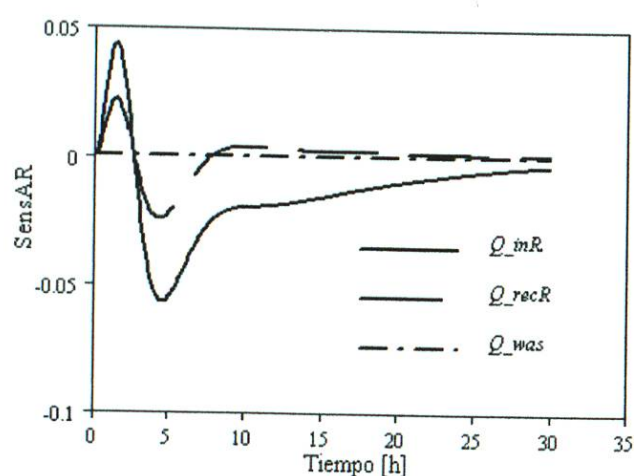


Figura 17. Simulación de las curvas de respuesta, utilizando los “ $Q_{rec}$ ” medidos.

Con base en lo anterior, durante la simulación sólo fue necesario determinar el “ $Q_{in}$ ” ó el “ $Q_{rec}$ ”, fijando el valor de alguno de éstos y determinando el otro. Sin embargo, debido a que no son parámetros identificables de forma única, es preciso definir cuál de estos parámetros tendrá que fijarse para poder determinar el otro. De acuerdo con el gráfico del análisis de sensibilidad, es posible observar que el “ $Q_{in}$ ” afecta más a la respuesta del modelo, por lo que es preciso que el “ $Q_{rec}$ ” sea el parámetro a fijar y “ $Q_{in}$ ” el parámetro a calcular. Este análisis aplica para cualquiera de los reactores.





*Figura 18.- Análisis de sensibilidad.*

### 5.9. Validación de los modelos hidráulicos.

No obstante que los resultados obtenidos con el modelo de 4 tanques colocados en serie son buenos, es necesario validar el modelo obtenido, para lo cual se analizaron los resultados obtenidos mediante la simulación de modelos alternativos, con base en los siguientes casos:

- a) **Estimación de caudales de influente ( $Q_{in}$ ) y recirculación ( $Q_{rec}$ ), mediante el un modelo de 4 tanques de mezcla completa colocados en serie.** Con base en el modelo de 4 tanques (reactores biológicos numero 1 y 5), se estimaron los caudales de influente y recirculación de forma simultánea; sin embargo, tal como se puede ver en la Figura 19, a pesar del buen ajuste obtenido, el valor de recirculación para el reactor biológico No. 1 no es congruente con los caudales nominales con que opera la planta, ya que un  $Q_{recR1}$  de  $200 \text{ m}^3/\text{h}$  para esta planta es demasiado pequeño; por otra parte,

al realizar nuevos intentos por determinar un nuevo conjunto de valores para los caudales, se observó que el valor de inicio que se le asignará al “Q\_rec”, no era modificado por el software (AQUASIM®) durante la simulación, por lo que la decisión de fijar el valor del “Q\_rec” en el modelo con el valor promedio medido resulta la mejor opción, misma que será analizada en la siguiente sección.

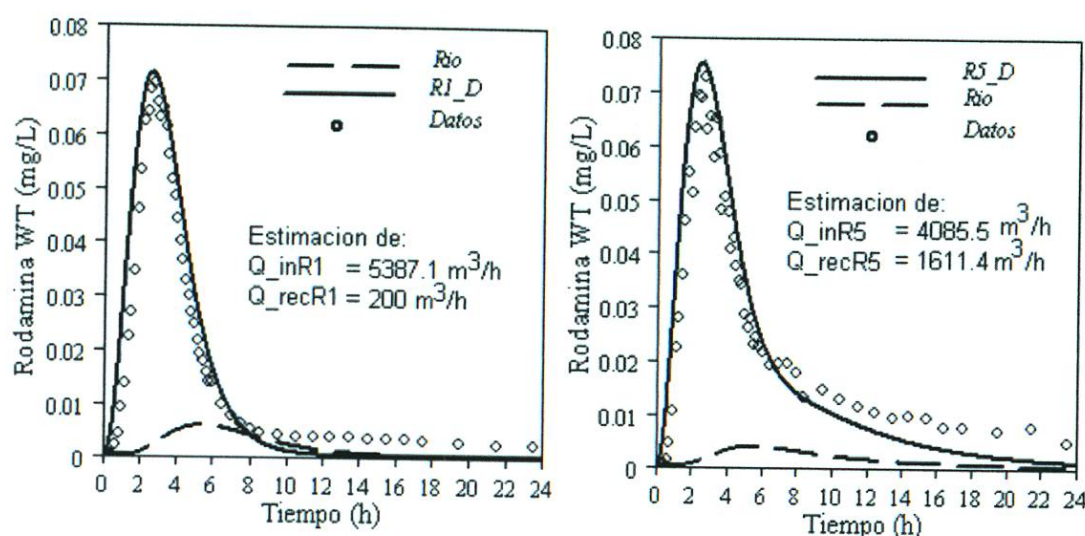


Figura 19.- Curvas de ajuste para los caudales estimados simultáneamente.

- b) **Estimación de uno de los caudales en función de otro.**- Mediante el uso de modelos para 2, 3, 4, 5 y 7 tanques reactores de mezcla completa, de forma complementaria, para validar el modelo de 4 tanques colocados en serie para cada uno de los reactores biológicos estudiados, se decidió probar otros modelos que conformados por 2, 3, 5, 6 y 7 tanques reactores, igualmente colocados en serie, el volumen total de cada reactor se mantuvo constante en todos los casos, por lo que el volumen varió únicamente para cada compartimiento, con base en el número de tanques implantados; para cada uno de los modelos implantados se fijó el caudal de recirculación (Q\_rec) y se procedió a simular el valor más adecuado del “Q\_in”. El resumen de los

caudales simulados se presenta en la Tabla VI. En ésta también son presentados los valores de “Chi<sup>2</sup>” como parámetro de ajuste.

No. Tanques	Q_inR1	R_recR1	Chi^1
2	2419.6	2462.4	0.0134
3	2919.6	2462.4	0.006654
4	3233.3	2462.4	0.004078
5	3436.6	2462.4	0.003367
7	3687.3	2462.4	0.0047
No. Tanques	Q_inR5	R_recR5	Chi^2
2	2827.5	2286.628	0.01255
3	3252.5	2286.628	0.005989
4	3561.5	2286.628	0.00391
5	3800.3	2286.628	0.003645
6	3950.8	2286.628	0.004601
7	40.76.6	2286.628	0.006238

*Tabla VI.- “Q\_in”, resultado de la simulación y su “Chi<sup>2</sup>”.*

En la Figura 20 se presentan los valores correspondientes al comportamiento de “Chi<sup>2</sup>” de manera grafica; en ella se puede observar que los valores de “Chi<sup>2</sup>” más pequeños se alcanzan cuando son simulados los modelos de 4 y 5 tanques reactores en serie. Estos valores indican que para estos modelos la dispersión de los datos experimentales, en relación con el modelo es menor, en comparación con los modelos con 2, 3, 6 y 7 tanques reactores respectivamente.

La Figura 21 muestra las curvas obtenidas de los modelos para 2, 3, 4, 5, 6 y 7 tanques reactores, representativo del comportamiento del reactor biológico N° 1, así como de los modelos para 2, 3 y 4 tanques reactores, que representa el comportamiento del reactor biológico No. 5.



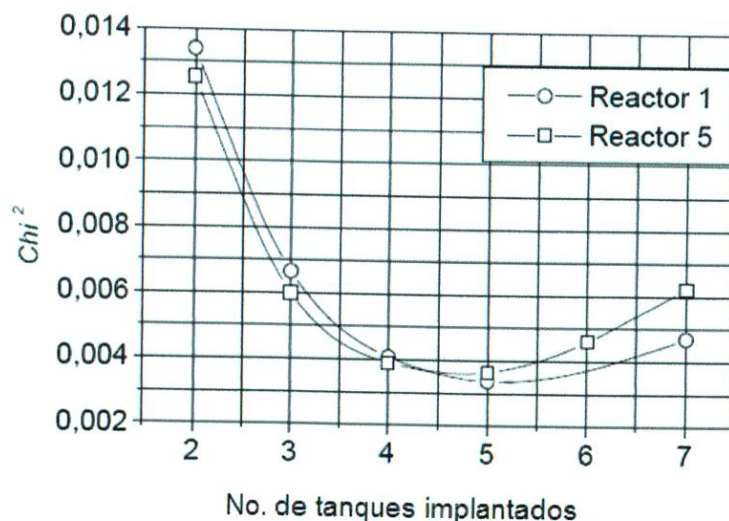
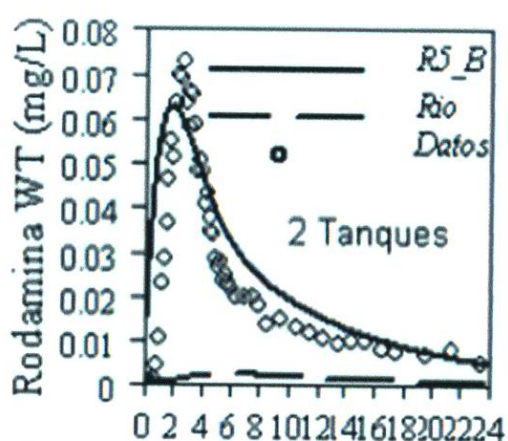
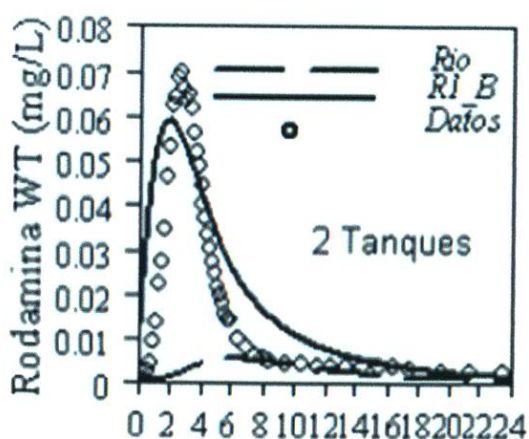


Figura 20.- Validación del mejor modelo propuesto mediante " $\chi^2$ ".

En las gráficas anteriores se observa que los dos modelos que mejor se ajustan a los datos experimentales son para 4 y 5 tanques reactores colocados en serie y que este último es el de mejor ajuste, de acuerdo con la " $\chi^2$ " obtenida; sin embargo, no hay necesidad de imponer un modelo de 5 tanques, puesto que el de 4 también respondió adecuadamente al ajuste. Esta decisión repercutirá favorablemente en el tiempo de respuesta durante la simulación, cuando el modelo hidráulico sea implantado en conjunto con las relaciones cinéticas para determinar el comportamiento de los otros factores componentes del agua residual, tales como: demanda química soluble, demanda bioquímica soluble, nitrógenos, etc.



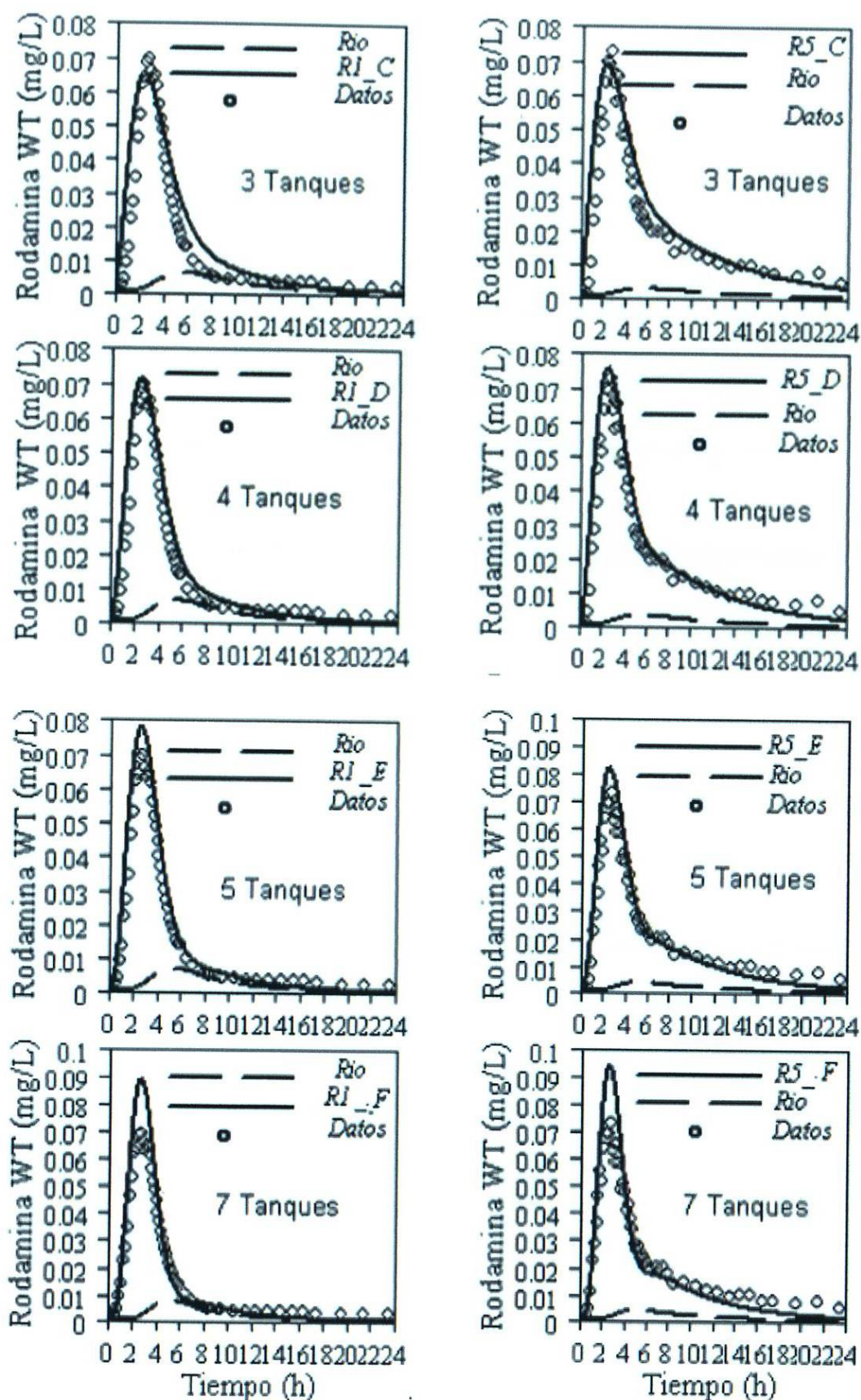


Figura 21. Curvas de ajuste; modelo de 2, 3, 4, 5 y 7 tanques colocados en serie.



Finalmente, se logró establecer que el modelo más adecuado es el de 4 tanques.

En este caso, el caudal del influente y recirculación óptimos se agrupan en la Tabla VII:

	V_total por cada reactor m <sup>3</sup>	V_tanque por cada tanque m <sup>3</sup>	Q_in m <sup>3</sup> /h	Q_rec m <sup>3</sup> /h	Q_was m <sup>3</sup> /h	T <sub>mean</sub> , h	Número de Tanques
R1	19120.00	4780	<b>3233.3</b>	<b>2462.4</b>	50	5.865	4
R5	19120.00	4780	<b>3561.5</b>	<b>2286.628</b>	50	7.966	4

*Tabla VII.- Especificaciones para cada modelo generado.*

#### **5.10. Determinación de los caudales mediante la prueba de trazador.**

Ante la incertidumbre que se presentó con las lecturas de los medidores de flujo instalados, se tomó la decisión de realizar algunas pruebas adicionales de medición de caudal, mediante el uso de inyección de trazador en algunos de los puntos donde se encontraban instalados los medidores de caudal. Lo anterior permitió corroborar la precisión de algunas de las lecturas de caudal.

La prueba consistió en la inyección de Rhodamina WT, con una concentración promedio de 50 000 mg/l, de forma continua, a una misma velocidad de inyección. El tiempo promedio de duración de cada prueba osciló entre 15 y 20 minutos y las muestras fueron tomadas con una frecuencia promedio de 3 minutos. En la **Tabla VIII**, se presenta el resumen de los puntos donde se midió el caudal mediante este método y el resultado obtenido.



## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES**

Es indudable que este trabajo de investigación tiene mucha importancia, ya que permite establecer las bases para realizar futuras investigaciones sobre el funcionamiento hidráulico no solamente de reactores de lodos activados, sino también de otros sistemas de tratamiento, como son las lagunas de estabilización, e incluso en los sistemas de cloración que operan como reactores de flujo pistón.

Aquí se han presentado en forma clara las ventajas que tiene el uso de un simulador, al reducir el tiempo de análisis de los resultados y, de igual forma, en la planeación de las pruebas pertinentes, sin la necesidad de invertir demasiado capital, debido a la necesidad de prueba y error, como en el caso de la prueba de trazador, en la cual, en lugar de utilizar una gran cantidad de Rhodamina WT, únicamente fue necesario desarrollar un modelo que describiera el funcionamiento (de forma aproximada) del proceso de lodos activados.

Los excelentes resultados obtenidos para la prueba de trazador permitieron reforzar la viabilidad de la pre-simulación, como una herramienta de planeación para la prueba de trazador. Por tanto, para lograr buenos resultados sólo es necesario conocer a fondo el funcionamiento de la planta, y considerar todos los posibles factores que afectan el funcionamiento de la misma y tomarlos en consideración. Lo anterior permitió establecer que el modelo hidráulico final sería el propuesto en la pre-

simulación, tanto para el reactor 1, como para el reactor 5; cada uno de éstos conformado por 4 tanques de mezcla completa de igual volumen ( $4780 \text{ m}^3$  cada uno) y colocados en serie, para simular el flujo pistón, un canal común de  $700 \text{ m}^3$ , encargado de conducir el licor mezclado efluente de los reactores hacia los clarificadores, cuyo volumen es de  $15,635 \text{ m}^3$  para cada uno.

Los medidores de caudal presentaron ciertos problemas en la toma de lecturas, ya que no se mantuvieron consistentes; a excepción de las mediciones logradas para la recirculación, cuyo caudal promedio fue de  $2,462.4 \text{ m}^3/\text{h}$  y  $2,286.628 \text{ m}^3/\text{h}$ , para los reactores 1 y 5 respectivamente, a partir de la implantación de este caudal de recirculación se logró determinar que el caudal promedio con que operan los reactores es de  $3233.3 \text{ m}^3/\text{h}$  y  $3561.5 \text{ m}^3$  para el reactor 1 y 5 respectivamente. Para el caso de los resultados obtenidos para el reactor 1, éstos son aplicables para los reactores 2, 3 y 4, que operan de forma similar al numero 1.

Para validar el modelo obtenido para cada reactor conformado de 4 tanques de mezcla completa, se probaron otros modelos que constan de 2, 3, 4, 5 y 7 tanques. Los dos mejores modelos fueron de 4 y 5 tanques colocados en serie. Si bien, es cierto que para el modelo de 5 tanques se obtuvo un parámetro de bondad de ajuste ( $\text{Chi}^2$ ) de 0.003367y 0.003645, para los reactores 1 y 5 respectivamente, frente a una “ $\text{Chi}^2$ ” para los modelos de 4 tanques, de 0.004078 y 0.00391 para los rectores 1 y 5, un análisis visual nos permite determinar que el uso del modelo de 4 tanques no repercute en la generación de resultados erróneos, y que sí permitirá reducir el tiempo de simulación cuando éste sea implantado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **EPA (1998)**, *Summary of Recommendations. Made during the January 7, 1998 NDWAC Working Group Conference Call regarding changes the Drinking Water Candidate Contaminant List (CCL) for Chemicals.* **Ground Water & Drinking Water.**
2. **Fall Cheik, Díaz-Delgado Carlos y Chávez Romero Rafael (2006)**, *Modelación matemática de plantas de tratamiento de lodos activados.* **Revista Técnica de Medio Ambiente RETEMA, España, vol 110, pp 32-47.**
3. **Field M. S. (2002)**, *Efficient hidrologic tracer-test design for tracer-mass estimation and sample-collection frequency, 1, method development.* **Newspaper Article Journal of Irrigation and Drainage Engineering 131, 396-406.**
4. **Keystone Aniline R&D Laboratories Technical Bulletin 89Rev. 01/24/2002**, *"Keyacid Rhoramine WT Liquid"* **Safety Card, Keystone Aniline Corporation, 250 West Fulton St., Chicago, IL., 60612, [www.dyes.com](http://www.dyes.com).**
5. **Metcalf y Eddy, (2003)**, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, **New York, USA, McGraw Hill 4ª Edition.**
6. **Petersen, B., Gernaey, K., Henze, M., Vanrolleghem, P.A, (2002)**, *Evaluation of an ASM1 model calibration procedure on*



*a municipal-industrial wastewater treatment plant,*

**Journal Hydroinformatics IWA 4, pp. 15-38.**

- 7. WEF-ASCE (1998),** *Design of municipal wastewater treatment plants* **4 th Ed. Vol. 2 Water Environment Federation – American Society of Civil Engineers, Alexandria Rsston (Virginia, USA).**

## **ANEXOS**

```

*****
AQUASIM Version 2.1b (win/mfc) - Listing of System Definition
*****
Date and time of listing:      06/16/2008  16:16:28
*****
Variables
*****
Cero:
Description:
Type:      Formula Variable
Unit:
Expression: 0

C_Rod:
Description: Concentración de la rodamina
Type:      Dyn. Volume State Var.
Unit:      g/m3
Relative Accuracy: 1e-006
Absolute Accuracy: 1e-006

C_rod_comer:
Description: Concentración de la Rodamina comercial
Type:      Formula Variable
Unit:      mg/L
Expression: 200000

C_Rod_meas:
Description: Datos Experimentales R1
Type:      Real List Variable
Unit:      mg/L
Argument:  time
Standard Deviations: global
Rel. Stand. Deviat.: 0
Abs. Stand. Deviat.: 1
Minimum:    0
Maximum:    1e+009
Interpolation Method: l  linear interpolation
Sensitivity Analysis:  inactive
Real Data Pairs (55 pairs): 0
0 0.16666667 0.000569
0.33333333 0.000136
0.5 0.000347
0.66666667 0.001884
17.5 0.00299
19.5 0.002452
21.5 0.00243
23.5 0.002425

```

```

25 0.001799

FAin_Pulse2minR1:
Description: Flujo masico de rodamina al reactor R1
Type:      Variable List Variable
Unit:      g/h
Argument:  time
Interpolation Method: linear interpolation
Real-Variable Data Pairs (3 pairs): 0
0.03 F_masico
0.03666667 F_masico
0.03666667 cero

F_masico:
Description: Flujo masico de rodamina
Type:      Formula Variable
Unit:      g/h
Expression: (V_aplic_rod*C_rod_comer/1000)/(t_aplic_rod/60)

Qa_in_R1_ips:
Description: Flowrate of the influent to R1 en
Type:      Formula Variable
Unit:      L/s
Expression: 1000

Qa_recR1_ips:
Description: RAS to R1 in LITER PER SECUND 50% recirc
Type:      Formula Variable
Unit:      L/s
Expression: 500

Qb_in_R1_CONVERT_M3_hour:
Description: QinR1 (inf of R1) from L/s to M3/h
Type:      Formula Variable
Unit:      m3/h
Expression: 3600*0.001*Qa_in_R1_ips

Qb_rec_R1_CONVERT_M3_hour:
Description: QrecR1 (recircR1) de Lps a m3/h
Type:      Formula Variable
Unit:      m3/h
Expression: 3600*0.001*Qa_recR1_ips

Qin8tot_in_R14_M3_per_Hour:
Description: Flowrate of the influent to
Type:      Formula Variable
Unit:      L/s
Expression: 4*3600*0.001*Qa_in_R1_ips

```



Qrec22tot\_recR14\_M3\_per\_HOUR:

Description: RAS to R1+R2+R3+R4 in M3/h  
 Type: Formula Variable  
 Unit: L/s  
 Expression: 4\*3600\*0.001\*Qa\_recR1\_ips

Q\_discharge:  
 Description: Caudal descargado  
 Type: Program Variable  
 Unit: m3/h  
 Reference to: Discharge

time:  
 Description: Tiempo  
 Type: Program Variable  
 Unit: h  
 Reference to: Time

t\_aplic\_rod:  
 Description: Tiempo de aplicacion de rodamina  
 Type: Formula Variable  
 Unit: minutos  
 Expression: 2

V\_aplic\_rod:  
 Description: Volumen aplicado de rodamina diluida  
 Type: Formula Variable  
 Unit: L  
 Expression: 8

Compartment A of R1

aR1\_A:  
 Description: Compartment A of R1  
 Type: Mixed Reactor Compartment  
 Compartment Index: 0  
 Active Variables: C\_Rod  
 Active Processes:  
 Initial Conditions:  
 Inflow: Qb\_in\_R1\_CONVERT\_M3\_hour  
 Loadings: Loading  
 Variable: FAIn\_Pulse2minR1  
 C\_Rod: 4780  
 Volume:  
 Accuracies:  
 Rel. Acc. Q: 0.001  
 Abs. Acc. Q: 0.001

Rel. Acc. V: 0.001  
 Abs. Acc. V: 0.001

bR1\_B:  
 Description: Compartment of R1  
 Type: Mixed Reactor Compartment  
 Compartment Index: 0  
 Active Variables: C\_Rod  
 Active Processes:  
 Initial Conditions:  
 Inflow: 0  
 Loadings:  
 Volume: 4780  
 Accuracies:  
 Rel. Acc. Q: 0.001  
 Abs. Acc. Q: 0.001  
 Rel. Acc. V: 0.001  
 Abs. Acc. V: 0.001

cR1\_C:  
 Description: Compartment of R1  
 Type: Mixed Reactor Compartment  
 Compartment Index: 0  
 Active Variables: C\_Rod  
 Active Processes:  
 Initial Conditions:  
 Inflow: 0  
 Loadings:  
 Volume: 4780  
 Accuracies:  
 Rel. Acc. Q: 0.001  
 Abs. Acc. Q: 0.001  
 Rel. Acc. V: 0.001  
 Abs. Acc. V: 0.001

dR1\_D:  
 Description: Compartment of R1  
 Type: Mixed Reactor Compartment  
 Compartment Index: 0  
 Active Variables: C\_Rod  
 Active Processes:  
 Initial Conditions:  
 Inflow: 0  
 Loadings:  
 Volume: 4780  
 Accuracies:  
 Rel. Acc. Q: 0.001  
 Abs. Acc. Q: 0.001  
 Rel. Acc. V: 0.001

Abs. Acc. V:		0.001
-----		
eCanalR1:		
Description:		
Type:	Outflow channel of R1	
Compartment Index:	Mixed Reactor Compartment	
Active Variables:	0	
Active Processes:	C_Rod	
Initial Conditions:	0	
Inflow:	0	
Loadings:	50	
Volume:	0.001	
Accuracies:	0.001	
Rel. Acc. Q:	0.001	
Abs. Acc. Q:	0.001	
Rel. Acc. V:	0.001	
Abs. Acc. V:	0.001	
-----		
fCS_R1_Y_R24:		
Description:		
Type:	Secondary Clarifiers 1-3-4-5 de R1-4	
Compartment Index:	Mixed Reactor Compartment	
Active Variables:	0	
Active Processes:	C_Rod	
Initial Conditions:	0	
Inflow:	0	
Loadings:	62540	
Volume:	0.001	
Accuracies:	0.001	
Rel. Acc. Q:	0.001	
Abs. Acc. Q:	0.001	
Rel. Acc. V:	0.001	
Abs. Acc. V:	0.001	
-----		
gPozo1_Ag_tratado:		
Description:		
Type:	Agricultura, Industrial, rio pesqueria	
Compartment Index:	Mixed Reactor Compartment	
Active Variables:	0	
Active Processes:	C_Rod	
Initial Conditions:	0	
Inflow:	0	
Loadings:	80	
Volume:	0.001	
Accuracies:	0.001	
Rel. Acc. Q:	0.001	
Abs. Acc. Q:	0.001	
Rel. Acc. V:	0.001	
Abs. Acc. V:	0.001	
-----		
hR234_A:		
Description:		
Type:	Compartment of R2R3R4 lumped	
Compartment Index:	Mixed Reactor Compartment	
Active Variables:	0	
Active Processes:	C_Rod	
Initial Conditions:	(3/4)*(Qin8tot_in_R14_M3_per_Hour)	
Inflow:	14340	
Loadings:	0.001	
Volume:	0.001	
Accuracies:	0.001	
Rel. Acc. Q:	0.001	
Abs. Acc. Q:	0.001	
Rel. Acc. V:	0.001	
Abs. Acc. V:	0.001	
-----		
iR234_B:		
Description:		
Type:	Compartment of R2R3R4 lumped	
Compartment Index:	Mixed Reactor Compartment	
Active Variables:	0	
Active Processes:	C_Rod	
Initial Conditions:	0	
Inflow:	14340	
Loadings:	0.001	
Volume:	0.001	
Accuracies:	0.001	
Rel. Acc. Q:	0.001	
Abs. Acc. Q:	0.001	
Rel. Acc. V:	0.001	
Abs. Acc. V:	0.001	
-----		
jR234_C:		
Description:		
Type:	Compartment of R2R3R4 lumped	
Compartment Index:	Mixed Reactor Compartment	
Active Variables:	0	
Active Processes:	C_Rod	
Initial Conditions:	0	
Inflow:	14340	
Loadings:	0.001	
Volume:	0.001	
Accuracies:	0.001	
Rel. Acc. Q:	0.001	
Abs. Acc. Q:	0.001	
Rel. Acc. V:	0.001	
Abs. Acc. V:	0.001	
-----		

```

kR234_D: Description:
Type:
Compartment Index:
Active Variables:
Active Processes:
Initial Conditions:
Inflow:
Loadings:
Volume:
Accuracies:
Rel. Acc. Q:
Abs. Acc. Q:
Rel. Acc. V:
Abs. Acc. V:

Reactor 5_independiente
Mixed Reactor Compartment
0
C_Rod
0
14340
0.001
0.001
0.001
0.001

-----
lCanalR234: Description:
Type:
Compartment Index:
Active Variables:
Active Processes:
Initial Conditions:
Inflow:
Loadings:
Volume:
Accuracies:
Rel. Acc. Q:
Abs. Acc. Q:
Rel. Acc. V:
Abs. Acc. V:

ML outflows from R2R3R4 lumped
Mixed Reactor Compartment
0
C_Rod
0
150
0.001
0.001
0.001
0.001

-----
mPozo2_todo: Description:
Type:
Compartment Index:
Active Variables:
Active Processes:
Initial Conditions:
Inflow:
Loadings:
Volume:
Accuracies:
Rel. Acc. Q:
Abs. Acc. Q:
Rel. Acc. V:
Abs. Acc. V:

RAS well
Mixed Reactor Compartment
0
C_Rod
0
40
0.001
0.001
0.001
0.001

*****
Links

```

```

*****
aR1_AB: Description:
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:

Conexcion del compartimento A al B
Advective Link
0
aR1_A
Outflow
bR1_B
Inflow

-----
bR1_BC: Description:
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:

Conexcion del compartimento B al C
Advective Link
0
bR1_B
Outflow
cR1_C
Inflow

-----
cR1_CD: Description:
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:

Conexcion del compartimento C al D
Advective Link
0
cR1_C
Outflow
dR1_D
Inflow

-----
dR1_D_CanalR1: Description:
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:

Conexión del reactor 1 al pozo2
canal + punto de bombeo a clarif)
Advective Link
0
dR1_D
Outflow
eCanalR1
Inflow

-----
eCanalR1_CS2: Description:
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:

Conexión del pozo2 al clarif2
Advective Link
0
eCanalR1
Outflow
fCS_R1_y_R24

```



Connection Out:  
Bifurcations:

Inflow

---

fCS\_Pozo1Ag\_tratado:  
Description:  
Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Connection In:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Bifurcations:

from Clarifiers to the treated water well  
Advective Link  
0  
fCS\_R1\_y\_R24  
Outflow  
gPozo1\_Ag\_tratado  
Inflow

---

g\_Pozo1\_ambiente:  
Description:  
total Q22

Descargas de lodos y efluente y reirc

Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Connection In:  
Compartment Out:  
Bifurcations:

Advective Link  
0  
gPozo1\_Ag\_tratado  
Outflow

---

RAS\_all\_Q22:  
Description:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Water Flow:

Part of recirc to go to R2R3R4  
mPozo2\_lodo  
Inflow  
Qrec22tot\_recR14\_M3\_per\_HOUR

---

hR24\_AB:  
Description:  
Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Connection In:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Bifurcations:

Conexcion del compartimento A al B  
Advective Link  
0  
hR234\_A  
Outflow  
iR234\_B  
Inflow

---

iR24\_BC:  
Description:  
Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Connection In:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Bifurcations:

Conexcion del compartimento B a C  
Advective Link  
0  
R234\_B  
Outflow  
jR234\_C  
Inflow

---

jR24\_CD:  
Description:  
Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Connection In:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Bifurcations:

Description:  
Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Connection In:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Bifurcations:

Conexcion del compartimento C a D  
Advective Link  
0  
jR234\_C  
Outflow  
kR234\_D  
Inflow

---

kR24\_D\_CanalR24:  
Description:  
Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Connection In:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Bifurcations:

Outflow of R2R3R4 to Channel  
Advective Link  
0  
kR234\_D  
Outflow  
iCanalR234  
Inflow

---

iCanalR24\_CS:  
Description:  
Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Connection In:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Bifurcations:

ML of R2R3R4 to the clarifier  
Advective Link  
0  
iCanalR234  
Outflow  
fCS\_R1\_y\_R24  
Inflow

---

mPozo2Lodo\_Reactores:  
Description:  
Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Connection In:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Bifurcations:

Division of RAS Q8 between R1 and 234  
Advective Link  
0  
mPozo2\_lodo  
Outflow  
hR234\_A  
Inflow

---

RAS\_R1:  
Description:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Water Flow:

RAS del R1  
aR1\_A  
Inflow  
Qb\_rec\_R1\_CONVERT\_M3\_hour

---

\*\*\*\*\*  
Definitions of Calculations  
\*\*\*\*\*  
Calculo:  
Description:

Simulación comportamiento rodamina en reactores

Calculation Number: 0  
Initial Time: 0  
Initial State: given, made consistent  
Step Size: 0.01  
Num. Steps: 3000  
Status: active for simulation active for sensitivity

analysis

# Definitions of Parameter Estimation Calculations

fit1:

Description:  
Calculation Number: 0  
Initial Time: 0  
Initial State: given, made consistent  
Status: active  
Fit Targets:  
Data : Variable

(Compartment,Zone,Time/Space)

C\_Rod\_meas : C\_Rod (eCanalR1,Bulk Volume,0)

## Plot Definitions

Conc\_out\_Channel\_R1:

Description:  
Abscissa:  
Title:  
Curva de rodamina en R1\_D  
Time  
b) 4 CSTRs: Both Qin and Qrec

estimated

Abscissa Label:  
Ordinate Label:  
Curves:  
Type : Variable [CalcNum,Comp.,Zone,Time/Space]  
Time/Space  
Value : C\_Rod [0,eCanalR1,Bulk Volume,0]  
Value : C\_Rod\_meas [0,eCanalR1,Bulk  
Volume,0]

## Discharges:

Description:  
Abscissa:  
Title:  
Abscissa Label:  
Ordinate Label:  
Curves:  
Type : Variable [CalcNum,Comp.,Zone,  
Time/Space]  
Value : Q\_discharge [0,eCanalR1,Bulk  
Volume,0]

Value : Q\_discharge [0,iCanalR234,Bulk Volume,0]  
Value : Q\_discharge [0,fcS\_R1\_y\_R24, Bulk Volume,0]  
Value : Q\_discharge [0,mPozo2\_Iodo, Bulk Volume,0]  
Value : Qin8tot\_in\_R14\_M3\_per\_Hour [0,hR234\_A, Bulk  
Volume,0]  
Value : Qrec22tot\_recR14\_M3\_per\_HOUR [0,hR234\_A, Bulk  
Volume,0]

## Dye\_pulse:

Description:  
Abscissa:  
Title:  
Abscissa Label:  
Ordinate Label:  
Curves:  
Type : Variable [CalcNum,Comp.,Zone,Time/Space]  
Value : FAIn\_Pulse2minR1 [0,aR1\_A,Bulk Volume,0]

## Sens:

Description:  
Abscissa:  
Title:  
Abscissa Label:  
Ordinate Label:  
Curves:  
Type : Variable [CalcNum,Comp.,Zone,Time/Space]  
SensAbsRel : C\_Rod(Qa\_recR1\_ips) [0,eCanalR1, Bulk Volume,0]  
SensAbsRel : C\_Rod(Qa\_in\_R1\_ips) [0,eCanalR1,Bulk Volum e,0]  
\*\*\*\*\*

## Calculation Parameters

Numerical Parameters:  
Maximum Int. Step Size: 1  
Maximum Integrat. Order: 5  
Number of Codiagonals: 1000  
Maximum Number of Steps: 1000

## Fit Method:

Max. Number of Iterat.: 100

## Calculated States

Calc. Num. Num. States Comments  
0 55 Range of Times: 0 - 25  
\*\*\*\*\*  
AQUASIM Version 2.1b (win/mfc) - Sensitivity Analysis File  
\*\*\*\*\*  
Date and time of listing: 06/16/2008 15:05:23



Ranking of roots of mean squared, listing of mean abs., mean and maximum of sensitivities and error contributions:

Calculation Number: 0  
Compartment: aR1\_A  
Zone: Bulk Volume  
Variable: C\_Rod (averages over 3001 values)  
Parameter: r(av(SensAR\*2)): av(|SensAR  
av(SensAR): max(|SensAR|:)|  
Parameter: r(av(ErrCont\*2)): av(|ErrCont|):  
av(ErrCont): max(|ErrCont|):  
Zone: Bulk Volume  
\*\*\*\*\*  
AQUASIM Version 2.1b (win/mfc) - Parameter Estimation File  
\*\*\*\*\*  
Date and time of listing: 06/16/2008 15:06:21  
Number of parameters = 1  
Number of data points = 55  
Estimation method = secant

Parameters:

Name	Unit	Start	Minimum	Maximum
Qa07_in_R5_ips	L/s	1000	300	60000

Calculations:

Qa07_in_R5_ips	Chi^2 [L/s]
1000	0.0041181636
1597	0.011937634
1138.9208	0.0036023587
1101.5	0.00354441
1105.8706	0.0035440944
1104.3378	0.00354401
1104.6059	0.0035440223
1104.3378	0.00354401

Parameter estimation successfully finished (convergence criterion met)

Qa07\_in\_R5\_ips [L/s]

Estimated values of the parameters: 1104.3378  
Estimated standard errors of the parameters: 34.472937  
Estimated correlation matrix of the parameters: 1  
Contribution of data series to Chi^2:

Calculation: fit1  
Data Series: C\_Rod\_means  
Chi^2 ini: 0.0041181636  
Chi^2 end: 0.00354401  
Number of steps performed = 5

Number of simulations performed = 8

\*\*\*\*\*  
AQUASIM Version 2.1b (win/mfc) - Parameter Estimation File  
\*\*\*\*\*  
Date and time of listing: 06/16/2008 15:06:21  
Number of parameters = 1  
Number of data points = 55  
Estimation method = secant

Parameters:

Name	Unit	Start	Minimum	Maximum
Qa07_in_R5_ips	L/s	1000	300	60000

Calculations:

Qa07_in_R5_ips	Chi^2 [L/s]
1000	0.0041181636
1597	0.011937634
1138.9208	0.0036023587
1101.5	0.00354441
1105.8706	0.0035440944
1104.3378	0.00354401
1104.6059	0.0035440223
1104.3378	0.00354401

Parameter estimation successfully finished (convergence criterion met)

Qa07\_in\_R5\_ips [L/s]

Estimated values of the parameters: 1104.3378  
Estimated standard errors of the parameters: 34.472937  
Estimated correlation matrix of the parameters: 1  
Contribution of data series to Chi^2:

Calculation: fit1  
Data Series: C\_Rod\_means  
Chi^2 ini: 0.0041181636  
Chi^2 end: 0.00354401  
Number of steps performed = 5  
Number of simulations performed = 8

\*\*\*\*\*  
AQUASIM Version 2.1b (win/mfc) - Listing of System Definition  
\*\*\*\*\*  
Date and time of listing: 06/16/2008 16:16:54  
\*\*\*\*\*  
Variables



\*\*\*\*\*

cero:

Description:  
Type: Formula Variable  
Unit:  
Expression: 0

C\_Rod:

Description:  
Type: Concentraci3n de la rodamina  
Unit: Dyn. Volume State Var.  
Relative Accuracy: g/m3  
Absolute Accuracy: 1e-006  
1e-006

C\_rod\_comer:

Description:  
Type: Concentraci3n de la Rodamina  
Unit: Formula Variable  
Expression: mg/L  
200000

C\_Rod\_meas:

Description:  
Type: Datos Experimentales  
Unit: Real List Variable  
Argument: mg/L  
Standard Deviations: time  
Rel. Stand. Deviat.: global  
Abs. Stand. Deviat.: 0  
Minimum: 1  
Maximum: 1e+009  
Interpolation Method: linear interpolation  
Sensitivity Analysis: inactive  
Real Data Pairs (55 pairs): 0

0  
0.16666667 0.00023  
0.33333333 0.000439  
0.5 0.000457  
0.66666667 0.001163  
.  
17.5 0.00737  
19.5 0.00671  
21.5 0.0075  
23.5 0.00476  
25 0.004325

FAin\_Pulse2minR5:

Description:  
Flujo masico de rodamina al reactor R5

Type: Variable List Variable  
Unit: g/h  
Argument: time  
Interpolation Method: linear interpolation  
Real-Variable Data Pairs (3 pairs): 0  
F\_masico 0.03  
F\_masico 0.036666667  
cero

F\_masico:

Description:  
Type: Flujo masico de rodamina  
Unit: Formula Variable  
Expression: g/h  
(V\_aplic\_rod\*C\_rod\_comer/1000)/(t\_aplic\_rod/60)

Qa07\_in\_R5\_lps:

Description:  
Type: Caudal Total que entra a la planta  
Unit: Constant Variable  
Value: L/s  
1000  
Standard Deviation: 35.806704  
Minimum: 300  
Maximum: 60000  
Sensitivity Analysis: inactive  
Parameter Estimation: inactive

Qa13\_Rec\_R5\_lps:

Description:  
Type: Recirculaci3n de lodo a R5A  
Unit: Formula Variable  
Expression: L/s  
500

Qb07\_inR5\_convert\_M3\_hour:

Description:  
Type: Conversion de Q7 (influent of R5)  
Unit: Formula Variable  
Expression: m3/h  
3600\*0.001\*Qa07\_in\_R5\_lps

Qb13\_Rec\_convert\_M3\_hour:

Description:  
Type: Conversion de Q7 (recircR5)  
Unit: Formula Variable  
Expression: m3/h  
3600\*0.001\*Qa13\_Rec\_R5\_lps

Q\_discharge:

Description:	Caudal descargado
Type:	Program Variable
Unit:	m3/h
Reference to:	Discharge

time:

Description:	Tiempo
Type:	Program Variable
Unit:	h
Reference to:	Time

t\_aplic rod:

Description:	Tiempo de aplicacion de la rodamina diluida
Type:	Formula Variable
Unit:	minutos

V aplic rod:

Descripción:	Volumen aplicado de rodamina diluida
Type:	Formula Variable
Unit:	L
Expression:	8

## Compartments

aR5 A:

Reactor 5_independiente	
Mixed Reactor Compartment	
0	
C_Rod	
Qb07_inR5_convert_M3_hour	
Loading	
FAIn_Pulse2minR5	
4780	
0.001	
0.001	
0.001	
0.001	

bR5 B:

Reactor 5\_independiente

Type:	Mixed Reactor Compartment
Compartment Index:	0
Active Variables:	C_Rod
Active Processes:	
Initial Conditions:	
Inflow:	0
Loadings:	
Volume:	4780
Accuracies:	
Rel. Acc. Q:	0.001
Abs. Acc. Q:	0.001
Rel. Acc. V:	0.001
Abs. Acc. V:	0.001

cR5\_C:

Description:	Reactor 5, independiente
Type:	Mixed Reactor Compartment
Compartment Index:	0
Active Variables:	C_Rod
Active Processes:	
Initial Conditions:	
Inflow:	0
Loadings:	
Volume:	4780
Accuracies:	
Rel. Acc. Q:	0.001
Abs. Acc. Q:	0.001
Rel. Acc. V:	0.001
Abs. Acc. V:	0.001

dR5 D:

Description:	Reactor 5, independent
Type:	Mixed Reactor Compartment
Compartment Index:	0
Active Variables:	C_Rod
Active Processes:	
Initial Conditions:	0
Inflow:	
Loadings:	4780
Volume:	
Accuracies:	
Rel. Acc. Q:	0.001
lbs. Acc. Q:	0.001
Rel. Acc. V:	0.001
lbs. Acc. V:	0.001

eCanalR5:

Description: Type:	Colector de licor mezclado de R5 Mixed Reactor Compartment
-----------------------	---

Compartment Index:  
Active Variables:  
Active Processes:  
Initial Conditions:  
Inflow:  
Loadings:  
Volume:  
Accuracies:  
Rel. Acc. Q:  
Abs. Acc. Q:  
Rel. Acc. V:  
Abs. Acc. V:

0  
C\_Rod  
0  
50  
0.001  
0.001  
0.001  
0.001

fCS2:

Description:  
Type:  
Compartment Index:  
Active Variables:  
Active Processes:  
Initial Conditions:  
Inflow:  
Loadings:  
Volume:  
Accuracies:  
Rel. Acc. Q:  
Abs. Acc. Q:  
Rel. Acc. V:  
Abs. Acc. V:

Clarificador secundario2 del R5  
Mixed Reactor Compartment  
0  
C\_Rod  
0  
15635  
0.001  
0.001  
0.001  
0.001

gPozo\_Ag\_tratado:

Description:  
Type:  
Compartment Index:  
Active Variables:  
Active Processes:  
Initial Conditions:  
Inflow:  
Loadings:  
Volume:  
Accuracies:  
Rel. Acc. Q:  
Abs. Acc. Q:  
Rel. Acc. V:  
Abs. Acc. V:

va despues a diversos usos: Agricultura,  
Industria, rio pescaria  
Mixed Reactor Compartment  
0  
C\_Rod  
0  
20  
0.001  
0.001  
0.001  
0.001

\*\*\*\*\*  
Links  
\*\*\*\*\*

aR5\_AB:

Description:  
Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Compartment In:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Bifurcations:

Conexcion del compartimento A al B  
Advective Link  
0  
aR5\_A  
Outflow  
bR5\_B  
Inflow

bR5\_BC:

Description:  
Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Compartment In:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Bifurcations:

Conexcion del compartimento B al C  
Advective Link  
0  
bR5\_B  
Outflow  
cR5\_C  
Inflow

cR5\_CD:

Description:  
Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Compartment In:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Bifurcations:

Conexcion del compartimento C al D  
Advective Link  
0  
cR5\_C  
Outflow  
dR5\_D  
Inflow

dR5\_D\_CanalR5:

Description:  
Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Compartment In:  
Compartment Out:  
Connection Out:  
Bifurcations:

Conexcion del reactor 5 al pozo2  
(canal + punto de bombeo a clarif)  
Advective Link  
0  
dR5\_D  
Outflow  
eCanalR5  
Inflow

eCanalR5\_CS2:

Description:  
Type:  
Link Index:  
Compartment In:  
Compartment In:  
Compartment Out:

Conexcion del pozo2 al clarif2  
Advective Link  
0  
eCanalR5  
Outflow  
fCS2



```

Connection Out:
Bifurcations:
Inflow

fCS2_PozoAg_tratado:
Description:
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:
Inflow

Conexion entre la tuberia de 5 Km y el rio
Advective Link
0
fCS2
Outflow
gPozo_Ag_tratado
Inflow

g_PozoTrat_ambiente:
Description:
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:
Recirculation:
Description:
Compartment Out:
Connection Out:
Water Flow:
Qb13_Rec_convert_M3_hour

Descargas de lodos y aguas tratados
Advective Link
0
gPozo_Ag_tratado
Outflow

RAS
aR5_A
nflow
Qb13_Rec_convert_M3_hour

Definitions of Calculations
*****
Calculo:
de
Description:
Simulacion de comportamiento
la rodamina en
reactores
0
0
given, made consistent
0.001
30000
active for simulation inactive
for sensitivity
analysis
*****
Definitions of Parameter Estimation Calculations
*****
fit1:
Description:
Calculation Number:
Initial Time:
Initial State:
Step Size:
Num. Steps:
Status:

Calculation Number:
Initial Time:
Initial State:
Step Size:
Num. Steps:
Status:

given, made consistent
active

Variable (Compartment,Zone,Time/Space)
C_Rod (eCanalR5,Bulk Volume,0)
*****
Plot Definitions
*****
Conc_out_Channel_R5:
Description:
Abscissa:
Title:
Abscissa Label:
Ordinate Label:
Curves:
Type:
Value:
Value:

Curva de rodamina en
compartimiento de R5_D
Time
a) Simulation with the nominal
flow rates, 4 CSTRs
Time (h)
Dye Conc. (mg/L)
Variable [CalcNum,Comp.,Zone,
Time/Space]
C_Rod [0,eCanalR5,Bulk Volume,0]
C_Rod_meas [0,eCanalR5,Bulk
Volume,0]

DescargaCANALR5:
Description:
Abscissa:
Title:
Abscissa Label:
Ordinate Label:
Curves:
Type:
Value:
Value:

Caudal descargado (Qin +Qrec)
Time
ML flowrate In R5 Channel
Time (h)
Flowrate m3/h
Variable [CalcNum,Comp.,
Zone,Time/Space]
Q_discharge [0,eCanalR5,Bulk Volume,0]

Dye_pulse:
Description:
Abscissa:
Title:
Abscissa Label:
Ordinate Label:
Curves:
Type:
Value:

Dye Pulse
Time
Dye Pulse
Time (h)
mass flow (g/h)
Variable [CalcNum,Comp.,Zone,
Time/Space]
FAin_Pulse2minR5 [0,aR5_A,
Bulk Volume,0]
*****
Calculation Parameters
*****
Numerical Parameters:

```

Maximum Int. Step Size: 1  
Maximum Integrat. Order: 5  
Number of Codiagonals: 1000  
Maximum Number of Steps: 1000

Fit Method: secant  
Max. Number of Iterat.: 100

\*\*\*\*\*  
AQUASIM Version 2.1b (win/mfc) - Listing of System Definition  
\*\*\*\*\*  
Date and time of listing: 06/16/2008 16:17:07  
\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*  
Variables  
\*\*\*\*\*  
cero: \*\*\*\*\*

Description: Formula Variable  
Type: Unit:  
Expression: 0

C\_Rod: Concentracion de la rodamina  
Description: Dyn. Volume State Var.  
Type: Unit: g/m3  
Relative Accuracy: 1e-006  
Absolute Accuracy: 1e-006

C\_rod\_comer: Concentracion de la Rodamina comercial  
Description: Formula Variable  
Type: Unit: mg/L  
Expression: 200000

C\_Rod\_meas: DATos ExperimentalesR1  
Description: Real List Variable  
Type: Unit: mg/L  
Argument: time  
Standard Deviations: global  
Rel. Stand. Deviat.: 0  
Abs. Stand. Deviat.: 1  
Minimum: 0  
Maximum: 1e+009  
Interpolation Method: linear interpolation  
Sensitivity Analysis: inactive  
Real Data Pairs (55 pairs): 0 0.16666667 0.000569

0.333333333 0.000136  
0.5 0.000347  
0.666666667 0.001884

17.5 0.00299  
19.5 0.002452  
21.5 0.00243  
23.5 0.002425  
25 0.001799

FAin\_Pulse2minR1: Flujo masico de rodamina al reactor R1  
Description: Variable List Variable  
Type: Unit: g/h  
Argument: time  
Interpolation Method: linear interpolation  
Real-Variable Data Pairs (3 pairs): 0 F\_masico  
0.03 F\_masico  
0.036666667 cero

F\_masico: Flujo masico de rodamina  
Description: Formula Variable  
Type: Unit: g/h  
Expression: (V\_aplic\_rod\*C\_rod\_comer/1000)/(t\_aplic\_rod/60)

Qa\_in\_R1\_lps: Flowrate of the influent to R1  
Description: en LITER PER SECOND  
Type: Constant Variable  
Unit: L/s  
Value: 925.23442  
Standard Deviation: 41.104175  
Minimum: 100  
Maximum: 10000  
Sensitivity Analysis: active  
Parameter Estimation: active

Qa\_recR1\_lps: RAS MEASURED to R1  
Description: in LITER PER SECOND  
Type: Formula Variable  
Unit: L/s  
Expression: 684

Qb\_in\_R1\_CONVERT\_M3\_hour: Conversion de QinR1 (influent of R1)  
Description:

Type:	from L/s to M3/h
Unit:	m3/h
Expression:	$3600 \cdot 0.001 \cdot Q_{a\_in\_R1\_lps}$
-----	
Qb_rec_R1_CONVERT_M3_hour:	
(recircR1)	Conversion de QrecR1
Type:	de Lps a m3/h
Unit:	m3/h
Expression:	$3600 \cdot 0.001 \cdot Q_{a\_recR1\_lps}$
-----	
Qin8tot_in_R14_M3_per_Hour:	
Description:	Flowrate of the influent to R1+R2+R3+R4 in M3 per Hour
Type:	Formula Variable
Unit:	L/s
Expression:	$4 \cdot 3600 \cdot 0.001 \cdot Q_{a\_in\_R1\_lps}$
-----	
Qrec22tot_recR14_M3_per_HOUR:	
Description:	Total RAS to R1+R2+R3+R4 in M3 per HOUR
Type:	Formula Variable
Unit:	L/s
Expression:	$4 \cdot 3600 \cdot 0.001 \cdot Q_{a\_recR1\_lps}$
-----	
Q_discharge:	
Description:	Caudal descargado
Type:	Program Variable
Unit:	m3/h
Reference to:	Discharge
-----	
time:	
Description:	Tiempo
Type:	Program Variable
Unit:	h
Reference to:	Time
-----	
t_aplic_rod:	
Description:	Tiempo de aplicacion de la rodamina diluida
Type:	Formula Variable
Unit:	minutos
Expression:	2
-----	
V_aplic_rod:	
Description:	Volumen aplicado

Type:	de rodamina diluida
Unit:	L
Expression:	8

```

*****
Compartments
*****
aR1_A:
Description:
Type:
Compartment Index:
Mixed Reactor Compartment
0
C_Rod
Qb_in_R1_CONVERT_M3_hour
Loading
FAIn_Pulse2minR1
4780
0.001
0.001
0.001
0.001
bR1_B:
Description:
Type:
Compartment Index:
Mixed Reactor Compartment
0
C_Rod
0
4780
0.001
0.001
0.001
0.001
cR1_C:
Description:
Type:
Compartment Index:
Mixed Reactor Compartment
0
C_Rod

```



dR1_D:	Active Processes:	
	Initial Conditions:	
	Inflow:	0
	Loadings:	
	Volume:	4780
	Accuracies:	
	Rel. Acc. Q:	0.001
	Abs. Acc. Q:	0.001
	Rel. Acc. V:	0.001
	Abs. Acc. V:	0.001
gPozo1_Ag. tratado:	Description:	Compartment of R1 Mixed Reactor Compartment
	Type:	C_Rod
	Compartment Index:	
	Active Variables:	
	Active Processes:	
	Initial Conditions:	
	Inflow:	0
	Loadings:	
	Volume:	4780
	Accuracies:	
eCanalR1:	Rel. Acc. Q:	0.001
	Abs. Acc. Q:	0.001
	Rel. Acc. V:	0.001
	Abs. Acc. V:	0.001
	Description:	Outflow channel of R1 Mixed Reactor Compartment
	Type:	C_Rod
	Compartment Index:	
	Active Variables:	
	Active Processes:	
	Initial Conditions:	
fCS_R1_y_R24:	Inflow:	0
	Loadings:	
	Volume:	50
	Accuracies:	
	Rel. Acc. Q:	0.001
	Abs. Acc. Q:	0.001
	Rel. Acc. V:	0.001
	Abs. Acc. V:	0.001
	Description:	Secondary Clarifiers 1-3-4-5 de
	Type:	Mixed Reactor Compartment
R1-4	Compartment Index:	
	Active Variables:	
	Active Processes:	
	Initial Conditions:	
	Inflow:	0
	Loadings:	
	Volume:	0
	Accuracies:	
	Rel. Acc. Q:	0.001
	Abs. Acc. Q:	0.001
hR234_A:	Rel. Acc. V:	0.001
	Abs. Acc. V:	0.001
	Description:	Compartment of R2R3R4 lumped Mixed Reactor Compartment
	Type:	C_Rod
	Compartment Index:	
	Active Variables:	
	Active Processes:	
	Initial Conditions:	
	Inflow:	(3/4)*(Qin8tot_in_R14_M3_per_Hour)
	Loadings:	
IR234_B:	Volume:	14340
	Accuracies:	
	Rel. Acc. Q:	0.001
	Abs. Acc. Q:	0.001
	Rel. Acc. V:	0.001
	Abs. Acc. V:	0.001
	Description:	Compartment of R2R3R4 lumped Mixed Reactor Compartment
	Type:	C_Rod
	Compartment Index:	
	Active Variables:	

Active Processes:  
Initial Conditions:  
Inflow:  
Loadings:  
Volume:  
Accuracies:  
Rel. Acc. Q:  
Abs. Acc. Q:  
Rel. Acc. V:  
Abs. Acc. V:

0  
14340  
0.001  
0.001  
0.001  
0.001

jR234\_C:

Description:

Compartment of R2R3R4 lumped  
Mixed Reactor Compartment  
0  
C\_Rod

Type:

Compartment Index:

Active Variables:

Active Processes:

Initial Conditions:

Inflow:

Loadings:

Volume:

Accuracies:

Rel. Acc. Q:

Abs. Acc. Q:

Rel. Acc. V:

Abs. Acc. V:

0  
14340  
0.001  
0.001  
0.001  
0.001

kR234\_D:

Description:

Type:

Compartment Index:

Active Variables:

Active Processes:

Initial Conditions:

Inflow:

Loadings:

Volume:

Accuracies:

Rel. Acc. Q:

Abs. Acc. Q:

Rel. Acc. V:

Abs. Acc. V:

Reactor 5\_independiente  
Mixed Reactor Compartment  
0  
C\_Rod

0

0  
14340  
0.001  
0.001  
0.001  
0.001

iCanalR234:

Description:

Type:

Compartment Index:

Active Variables:

ML outflows from R2R3R4  
Mixed Reactor Compartment  
0  
C\_Rod

0

Active Processes:  
Initial Conditions:  
Inflow:  
Loadings:  
Volume:  
Accuracies:  
Rel. Acc. Q:  
Abs. Acc. Q:  
Rel. Acc. V:  
Abs. Acc. V:

0  
150  
0.001  
0.001  
0.001  
0.001

mPozo2\_Iodo:

Description:

Type:

Compartment Index:

Active Variables:

Active Processes:

Initial Conditions:

Inflow:

Loadings:

Volume:

Accuracies:

Rel. Acc. Q:

Abs. Acc. Q:

Rel. Acc. V:

Abs. Acc. V:

RAS well  
Mixed Reactor Compartment  
0  
C\_Rod

0

0  
40  
0.001  
0.001  
0.001  
0.001

\*\*\*\*\*

Links

\*\*\*\*\*

aR1\_AB:

Description:

Type:

Link Index:

Compartment In:

Connection In:

Compartment Out:

Connection Out:

Bifurcations:

Conexion del compartimento A al B  
Advective Link  
0  
aR1\_A  
Outflow  
bR1\_B  
Inflow

0  
aR1\_A  
Outflow  
bR1\_B  
Inflow

bR1\_BC:

Description:

Type:

Link Index:

Compartment In:

Connection In:

Compartment Out:

Connection Out:

Bifurcations:

Conexion del compartimento B al C  
Advective Link  
0  
bR1\_B  
Outflow  
cR1\_C  
Inflow

0  
bR1\_B  
Outflow  
cR1\_C  
Inflow

cR1_CD:	Description:	Conexion del compartimento
C al D	Type:	Advection Link
	Link Index:	0
	Compartment In:	cR1_C
	Connection In:	Outflow
	Compartment Out:	dR1_D
	Connection Out:	Inflow
	Bifurcations:	
dR1_D_CanalR1:	Description:	Conexion del reactor 1 al pozo2
pozo2	Type:	(canal + punto de bombeo a clarif)
	Link Index:	0
	Compartment In:	dR1_D
	Connection In:	Outflow
	Compartment Out:	eCanalR1
	Connection Out:	Inflow
	Bifurcations:	
eCanalR1_CS2:	Description:	Conexion del pozo2 al clarif2
	Type:	Advection Link
	Link Index:	0
	Compartment In:	eCanalR1
	Connection In:	Outflow
	Compartment Out:	fCS_R1_y_R24
	Connection Out:	Inflow
	Bifurcations:	
fCS_Pozo1Ag_tratado:	Description:	From Clarifiers to the treated water well
water well	Type:	Advection Link
	Link Index:	0
	Compartment In:	fCS_R1_y_R24
	Connection In:	Outflow
	Compartment Out:	gPozo1_Ag_tratado
	Connection Out:	Inflow
	Bifurcations:	
g_Pozo1_ambiente:	Description:	Descargas de lodos y aguas tratados

	Type:	Advection Link
	Link Index:	0
	Compartment In:	gPozo1_Ag_tratado
	Connection In:	Outflow
	Compartment Out:	
	Bifurcations:	
RAS_all_Q22:	Description:	Part of recirc to go to R2R3R4
	Compartment Out:	mPozo2_lodo
	Connection Out:	Inflow
	Water Flow:	Qrec22tot_recR14_M3_per_HOUR
hr24_AB:	Description:	Conexion del compartimento A al B
	Type:	Advection Link
	Link Index:	0
	Compartment In:	hr234_A
	Connection In:	Outflow
	Compartment Out:	ir234_B
	Connection Out:	Inflow
	Bifurcations:	
ir24_BC:	Description:	Conexion del compartimento B a C
	Type:	Advection Link
	Link Index:	0
	Compartment In:	ir234_B
	Connection In:	Outflow
	Compartment Out:	jr234_C
	Connection Out:	Inflow
	Bifurcations:	
jr24_CD:	Description:	Conexion del compartimento C a D
	Type:	Advection Link
	Link Index:	0
	Compartment In:	jr234_C
	Connection In:	Outflow
	Compartment Out:	kr234_D
	Connection Out:	Inflow
	Bifurcations:	
kr24_D_CanalR24:	Description:	Outflow of R2R3R4 to Channel
	Type:	Advection Link
	Link Index:	0
	Compartment In:	kr234_D
	Connection In:	Outflow



```

Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:
ICanalR234
Inflow

ICanalR24_CS:
Description:
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:
Inflow

ML of R2R3R4 to the clarifier
Advective Link
0
ICanalR234
Outflow
fCS_R1_y_R24

mPozo2Lodo_Reactors:
Description:
R1
Division of RAS Q8 between
and R 2,3,4
Advective Link
0
mPozo2_Iodo
Outflow
hR234_A
Inflow

RAS_R1:
Description:
Compartment
Connection Out:
Water Flow:
Qb_rec_R1_CONVERT_M3_hour

RAS del R1
Out: aR1_A
Inflow

Definitions of Calculations
*****
Calculo:
Description:
Simulation de comportamiento
de la rodamina en
reactores
0
0
given, made consistent
0.01
3000
active for simulation active
for sensitivity
analysis
*****

```

```

Definitions of Parameter Estimation Calculations
*****
fit1:
Description:
Calculation Number:
0
Initial Time:
0
Initial State:
given, made consistent
Status:
active
Fit Targets:
Data :
Variable (Compartment,Zone,
Time/Space)
C_Rod_meas :
C_Rod (eCanalR1,Bulk Volume,0)
*****
Plot Definitions
*****
Conc_out_Channel_R1:
Description:
Curva de rodamina en
compartimiento de R1_D
Abscissa:
Time
Title:
b) 4 CSTRs: Both Qin and
Qrec estimated
Abscissa Label:
Time (h)
Ordinate Label:
Dye Conc. (mg/L)
Curves:
Type :
Variable [CalcNum,Comp.,Zone,
Time/Space]
Value :
C_Rod [0,eCanalR1,Bulk Volume,0]
Value :
C_Rod_meas [0,eCanalR1,
Bulk Volume,0]
*****
Discharges:
Description:
Flowrates at different outflows
Abscissa:
Time
Title:
Discharged Flowrates
Abscissa Label:
Time (h)
Ordinate Label:
Flowrate m3/h
Curves:
Type :
Variable [CalcNum,Comp.,
Zone,Time/Space]
Value :
Q_discharge [0,eCanalR1,Bulk
Volume,0]
Value :
Q_discharge [0,ICanalR234,Bulk
Volume,0]
Value :
Q_discharge [0,fCS_R1_y_R24,
Bulk Volume,0]
Value :
Q_discharge [0,mPozo2_Iodo,
Bulk Volume,0]
Value :
Qin8tot_in_R14_M3_per_Hour
[0,hR234_A,

```

Value :
Bulk Volume,0]
Qrec22tot\_recR14\_M3\_per\_HOUR
[0,hr234\_A,Bulk
Volume,0]

Dye\_pulse:
Description:
Dye Pulse
Abscissa:
Time
Title:
Dye Pulse
Abscissa Label:
Time (h)
Ordinate Label:
mass flow (g/h)
Curves:
Variable
Type :
[CalcNum,Comp.,Zone,
Time/Space]
Value :
FAin\_Pulse2minR1
[0,aR1\_A,Bulk
Volume,0]

Sens:
Description:
Time
Abscissa:
c2. Sensitivity of Qrec an Qin
Title:
Time (h)
Abscissa Label:
SensAR
Ordinate Label:
SensAR
Curves:
Type :
Variable [CalcNum,Comp.,
Zone,Time/Space]
SensAbsRel :
C\_Rod(Qa\_in\_R1\_ips)[0,
eCanalR1,Bulk
Volume,0]

\*\*\*\*\*
Calculation Parameters
\*\*\*\*\*
Numerical Parameters:
Maximum Integrat. Order: 5
Maximum Int. Step Size: 1
Number of Codiagonals: 1000
Maximum Number of Steps: 1000

Fit Method:
Max. Number of Iterat.:
secant
100

\*\*\*\*\*
AQUASIM Version 2.1b (win/mfc) - Listing of System Definition
\*\*\*\*\*
Date and time of listing:
06/16/2008 16:17:15

\*\*\*\*\*
Variables
\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*
cero:
Description:
Type:
Unit:
Expression:
Formula Variable
0

C\_Rod:
Description:
Type:
Unit:
Relative Accuracy:
Absolute Accuracy:
Concentracion de la rodamina
Dyn. Volume State Var.
g/m3
1e-006
1e-006

C\_rod\_comer:
Description:
Type:
Unit:
Expression:
Concentracion de la Rodamina comercial
Formula Variable
mg/L
200000

C\_Rod\_meas:
Description:
Type:
Unit:
Argument:
Standard Deviations:
Rel. Stand. Deviat.:
Abs. Stand. Deviat.:
Minimum:
Maximum:
Interpolation Method:
Sensitivity Analysis:
Real Data Pairs (55 pairs):
Datos Experimentales
Real List Variable
mg/L
time
global
0
1
0
1e+009
linear interpolation
inactive
0
0
0.16666667
0.33333333
0.5
0.66666667
0.00023
0.000439
0.000457
0.001163
0.00737
0.00671
0.0075
0.00476
0.004325

FAin\_Pulse2minR5:
Description:
Type:
Unit:
Flujo masico de rodamina al reactor R5
Variable List Variable
g/h

Argument:  
Interpolation Method:  
Real-Variable Data Pairs (3 pairs):0

F\_masico  
time  
linear interpolation  
F\_masico  
0.03  
0.036666667  
cero

F\_masico:  
Description:  
Type:  
Unit:  
Expression:  
(V\_aplic\_rod\*C\_rod\_comer/1000)/  
Flujo masico de rodamina  
Formula Variable  
g/h  
(t\_aplic\_rod/60)

Qa07\_in\_R5\_lps:  
Description:  
entra a la planta  
Caudal Total que  
en LITER PER  
SECOND  
Constant Variable  
L/s  
1001.0575  
Standard Deviation:  
36.189505  
Minimum:  
300  
Maximum:  
60000  
Sensitivity Analysis:  
active  
Parameter Estimation:  
active

Qa13\_Rec\_R5\_lps:  
Description:  
measured value  
Qrec R5 imposed at the  
Formula Variable  
L/s  
635

Qb07\_inR5\_convert\_M3\_hour:  
R5)  
Description:  
Conversion de Q7 (influent of  
from L/s to M3/h  
Formula Variable  
m3/h  
3600\*0.001\*Qa07\_in\_R5\_lps

Qb13\_Rec\_convert\_M3\_hour:  
Lps a m3/h  
Description:  
Conversion de Q7 (recircR5) de  
Formula Variable  
m3/h

Expression:  
3600\*0.001\*Qa13\_Rec\_R5\_lps

Q\_discharge:  
Description:  
Type:  
Unit:  
Reference to:  
Caudal descargado  
Program Variable  
m3/h  
Discharge

time:  
Description:  
Type:  
Unit:  
Reference to:  
Tiempo  
Program Variable  
h  
Time

t\_aplic\_rod:  
Description:  
Type:  
Unit:  
Expression:  
Tiempo de aplicacion de la  
rodamina diluida  
Formula Variable  
minutos  
2

V\_aplic\_rod:  
Description:  
Type:  
Unit:  
Expression:  
Volumen aplicado de rodamina diluida  
Formula Variable  
L  
8

\*\*\*\*\*  
Compartments  
\*\*\*\*\*  
aR5\_A:  
Description:  
Type:  
Compartment Index:  
Active Variables:  
Active Processes:  
Initial Conditions:  
Inflow:  
Loadings:  
Variable:  
C\_Rod:  
Volume:  
Accuracies:  
Rel. Acc. Q:  
Abs. Acc. Q:  
Rel. Acc. V:  
Abs. Acc. V:  
Reactor 5\_independiente  
Mixed Reactor Compartment  
0  
C\_Rod  
Qb07\_inR5\_convert\_M3\_hour  
Loading  
FAin\_Pulse2minR5  
4780  
0.001  
0.001  
0.001  
0.001

bR5\_B:



cR5_C:	Description:	Reactor 5_independiente	
	Type:	Mixed Reactor Compartment	
	Compartment Index:	0	
	Active Variables:	C_Rod	
	Active Processes:		
	Initial Conditions:		
	Inflow:	0	
	Loadings:		
	Volume:	4780	
	Accuracies:		
	Rel. Acc. Q:	0.001	
	Abs. Acc. Q:	0.001	
cR5_D:	Rel. Acc. V:	0.001	
	Abs. Acc. V:	0.001	
	Description:	Reactor 5_independiente	
	Type:	Mixed Reactor Compartment	
	Compartment Index:	0	
	Active Variables:	C_Rod	
	Active Processes:		
	Initial Conditions:		
	Inflow:	0	
	Loadings:		
	Volume:	4780	
	Accuracies:		
eCanalR5:	Rel. Acc. Q:	0.001	
	Abs. Acc. Q:	0.001	
	Rel. Acc. V:	0.001	
	Abs. Acc. V:	0.001	
	Description:	Reactor 5_independiente	
	Type:	Mixed Reactor Compartment	
	Compartment Index:	0	
	Active Variables:	C_Rod	
	Active Processes:		
	Initial Conditions:		
	Inflow:	0	
	Loadings:		
	Volume:	4780	
fCS2:	Accuracies:		
	Rel. Acc. Q:	0.001	
	Abs. Acc. Q:	0.001	
	Rel. Acc. V:	0.001	
	Abs. Acc. V:	0.001	
	Description:	Reactor 5_independiente	
	Type:	Mixed Reactor Compartment	
	Compartment Index:	0	
	Active Variables:	C_Rod	
	Active Processes:		
	Initial Conditions:		
	Inflow:	0	
gPozo_Ag_tratado:	Loadings:		
	Volume:	4780	
	Accuracies:		
	Rel. Acc. Q:	0.001	
	Abs. Acc. Q:	0.001	
	Rel. Acc. V:	0.001	
	Abs. Acc. V:	0.001	
	Description:	Reactor 5_independiente	
	Type:	Mixed Reactor Compartment	
	Compartment Index:	0	
	Active Variables:	C_Rod	
	Active Processes:		
va despues a diversos usos: Agricultura, Industria, rio piscaria	Initial Conditions:		
	Inflow:	0	
	Loadings:		
	Volume:	4780	
	Accuracies:		
	Rel. Acc. Q:	0.001	
	Abs. Acc. Q:	0.001	
	Rel. Acc. V:	0.001	
	Abs. Acc. V:	0.001	
	Description:	Reactor 5_independiente	
	Type:	Mixed Reactor Compartment	
	Compartment Index:	0	

```

*****
aR5_AB: Description: Coneccion del compartimento
A al B
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:
Advective Link
0
aR5_A
Outflow
bR5_B
Inflow

-----
bR5_BC: Description: Coneccion del compartimento
B al C
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:
Advective Link
0
bR5_B
Outflow
cR5_C
Inflow

-----
cR5_CD: Description: Coneccion del compartimento
C al D
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:
Advective Link
0
cR5_C
Outflow
dR5_D
Inflow

-----
dR5_D_CanalR5:
pozo2 Description: Coneccion del reactor 5 al
(banal + punto de
bombeo a clarif)
Advective Link
0
dR5_D
Outflow
eCanalR5
Inflow

-----
eCanalR5_CS2:
Description: Coneccion del pozo2 al clarif2

```

```

Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:
Advective Link
0
eCanalR5
Outflow
fCS2
Inflow

-----
fCS2_PozoAg_tratado:
Description: Conexion entre la tubería de 5Km y el río
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:
Advective Link
0
fCS2
Outflow
gPozo_Ag_tratado
Inflow

-----
g_PozoTrat_ambiente:
Description: Descargas de lodos y aguas tratados
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:
Advective Link
0
gPozo_Ag_tratado
Outflow

-----
RAS
aR5_A
Inflow
Qb13_Rec_convert_M3_hour
*****
Definitions of Calculations
*****
Calculo: Description:
Simulation de comportamiento de
la rodamina en reactores
0
0
given, made consistent
0.01
3000
active for simulation active for
sensitivity analysis
*****
Definitions of Parameter Estimation Calculations
*****
fit1: Description:

```

Calculation Number:  
 Initial Time:  
 Initial State:  
 Status:  
 Fit Targets:  
 Data :  
 (Compartment,Zone,Time/Space)  
 C\_Rod\_meas :  
 Volume,0]

0  
 0  
 given, made consistent  
 active  
 Variable  
 C\_Rod (eCanalR5,Bulk

\*\*\*\*\*  
 Plot Definitions  
 \*\*\*\*\*  
 Conc\_out\_Channel\_R5:  
 Description:

Curva de rodamina en  
 compartimiento de  
 R5\_D  
 Time  
 c) 4 CSTRs: Qin estimated;  
 Qrec imposed = 633  
 Ips

Time (h)  
 Abscissa Label:  
 Ordinate Label:  
 Curves:  
 Type :  
 Value :  
 Value :

Dye Conc. (mg/L)  
 Variable [CalcNum,Comp.,Zone,  
 Time,Time/Space]  
 C\_Rod [0,eCanalR5,  
 Bulk Volume,0]  
 C\_Rod\_meas [0,eCanalR5,  
 Bulk Volume,0]

DescargaCANALR5:  
 +Qrec)  
 Description:  
 Abscissa:  
 Title:  
 Abscissa Label:  
 Ordinate Label:  
 Curves:  
 Type :  
 [CalcNum,Comp.,Zone,  
 Volume,0]  
 Value :  
 Dye\_pulse:  
 Description:  
 Abscissa:  
 Title:

Caudal descargado (Qin)  
 Time  
 ML flowrate In R5 Channel  
 Time (h)  
 Flowrate m3/h  
 Variable  
 Q\_discharge [0,eCanalR5,Bulk

Abscissa Label:  
 Ordinate Label:  
 Curves:  
 Type :  
 Value :  
 Variable [CalcNum,Comp.,Zone,  
 Time/Space]  
 FAIn\_Pulse2minR5 [0,aR5\_A,Bulk  
 Volume,0]

Sens:  
 Description:  
 Abscissa:  
 Title:  
 Abscissa Label:  
 Ordinate Label:  
 Curves:  
 Type :  
 SensAbsRel :  
 Variable [CalcNum,Comp.,Zone,  
 Time/Space]  
 C\_Rod(Qa07\_in\_R5\_ips)  
 [0,eCanalR5,Bulk Volume,0]

Time  
 c2. Sensitivity of Qrec an Qin  
 Sensor  
 Type :  
 Variable [CalcNum,Comp.,Zone,  
 Time/Space]  
 C\_Rod(Qa07\_in\_R5\_ips)  
 [0,eCanalR5,Bulk Volume,0]

\*\*\*\*\*  
 Calculation Parameters  
 \*\*\*\*\*  
 Numerical Parameters:  
 Maximum Integrat. Order: 5  
 Number of Codiagonals: 1000  
 Maximum Number of Steps: 1000

Fit Method:  
 Max. Number of Iterat.:  
 secant  
 100

\*\*\*\*\*  
 AQUASIM Version 2.1b (win/mfc) - Listing of System Definition  
 \*\*\*\*\*  
 Date and time of listing: 06/16/2008 16:17:15

\*\*\*\*\*  
 Variables  
 \*\*\*\*\*  
 cero:

Description:  
 Type:  
 Unit:  
 Expression:  
 Formula Variable  
 0

C\_Rod:  
 Description:  
 Type:  
 Unit:  
 Concentracion de la rodamina  
 Dyn. Volume State Var.  
 g/m3



Relative Accuracy: Absolute Accuracy:		1e-006 1e-006
<hr/>		
C_rod_comer:	Concentracion de la Rodamina	
comercial	Description:	
	Type:	Formula Variable
	Unit:	mg/L
	Expression:	200000
<hr/>		
C_Rod_meas:	Description:	Datos Experimentales
	Type:	Real List Variable
	Unit:	mg/L
	Argument:	time
	Standard Deviations:	global
	Rel. Stand. Deviat.:	0
	Abs. Stand. Deviat.:	1
	Minimum:	0
	Maximum:	1e+009
	Interpolation Method:	linear interpolation
	Sensitivity Analysis:	inactive
	Real Data Pairs (55 pairs):	0
0.00023		0
0.000439		0.16666667
0.001163		0.33333333
	0.000457	0.5
		0.66666667
<hr/>		
	0.00737	17.5
	0.00671	19.5
	0.0075	21.5
	0.00476	23.5
	0.004325	25
<hr/>		
FAin_Pulse2minR5:	Description:	Flujo masico de rodamina al
reactor R5	Type:	Variable List Variable
	Unit:	g/h
<hr/>		
Argument: Interpolation Method: Real-Variable Data Pairs (3 pairs):0		time linear interpolation F_masico 0.03 0.036666667 F_masico 0.036666667 cero
<hr/>		
F_masico:	Description:	Flujo masico de rodamina
	Type:	Formula Variable
	Unit:	g/h
	Expression:	$(V\_aplic\_rod * C\_rod\_comer / 1000) / (t\_aplic\_rod / 60)$
<hr/>		
Qa07_in_R5_ips:	Description:	Caudal Total que entra a la planta en LITER PER SECOND
	Type:	Constant Variable
	Unit:	L/s
	Value:	1001.0575
	Standard Deviation:	36.189505
	Minimum:	300
	Maximum:	60000
	Sensitivity Analysis:	active
	Parameter Estimation:	active
<hr/>		
Qa13_Rec_R5_ips:	Description:	Qrec R5 imposed at the measured value
	Type:	Formula Variable
	Unit:	L/s
	Expression:	635
<hr/>		
Qb07_inR5_convert_M3_hour:	Description:	Conversion de Q7 (influent of R5) from L/s to M3/h
	Type:	Formula Variable
	Unit:	m3/h
	Expression:	$3600 * 0.001 * Qa07\_in\_R5\_ips$
<hr/>		
Qb13_Rec_convert_M3_hour:	Description:	Covercion de Q7 (recircR5) de Lps a m3/h
	Type:	Formula Variable
	Unit:	m3/h
	Expression:	$3600 * 0.001 * Qa13\_Rec\_R5\_Ips$
<hr/>		
Q_discharge:	Description:	Caudal descargado
	Type:	Program Variable
	Unit:	m3/h
	Reference to:	Discharge

<b>cR5_C:</b>	
Loadings:	
Volume:	4780
Accuracies:	
Rel. Acc. Q:	0.001
Abs. Acc. Q:	0.001
Rel. Acc. V:	0.001
Abs. Acc. V:	0.001
<hr/>	
<b>Reactor 5_independiente</b>	
Type:	Mixed Reactor Compartment
Compartment Index:	0
Active Variables:	C_Rod
Active Processes:	
Initial Conditions:	
Inflow:	0
Loadings:	
Volume:	4780
Accuracies:	
Rel. Acc. Q:	0.001
Abs. Acc. Q:	0.001
Rel. Acc. V:	0.001
Abs. Acc. V:	0.001
<hr/>	
<b>dR5_D:</b>	
Description:	Reactor 5_independiente
Type:	Mixed Reactor Compartment
Compartment Index:	0
Active Variables:	C_Rod
Active Processes:	
Initial Conditions:	
Inflow:	0
Loadings:	
Volume:	4780
Accuracies:	
Rel. Acc. Q:	0.001
Abs. Acc. Q:	0.001
Rel. Acc. V:	0.001
Abs. Acc. V:	0.001
<hr/>	
<b>eCanalR5:</b>	
Description:	Colector de licor mezclado de R5
Type:	Mixed Reactor Compartment
Compartment Index:	0
Active Variables:	C_Rod
Active Processes:	
Initial Conditions:	
Inflow:	0
Loadings:	

Volume:	50	Type:	Advective Link
Accuracies:		Link Index:	0
Rel. Acc. Q:	0.001	Compartment In:	aR5_A
Abs. Acc. Q:	0.001	Connection In:	Outflow
Rel. Acc. V:	0.001	Compartment Out:	bR5_B
Abs. Acc. V:	0.001	Connection Out:	Inflow
-----			
fCS2:		Bifurcations:	
-----			
Description:	Clarificador secundario2 del R5	bR5_BC:	
Type:	Mixed Reactor Compartment	Description:	Conexcion del compartimento B al C
Compartment Index:	0	Type:	Advective Link
Active Variables:	C_Rod	Link Index:	0
Active Processes:		Compartment In:	bR5_B
Initial Conditions:		Connection In:	Outflow
Inflow:	0	Compartment Out:	cR5_C
Loadings:		Connection Out:	Inflow
Volume:	15635	Bifurcations:	
Accuracies:		-----	
Rel. Acc. Q:	0.001	cR5_CD:	
Abs. Acc. Q:	0.001	Description:	Conexcion del compartimento C al D
Rel. Acc. V:	0.001	Type:	Advective Link
Abs. Acc. V:	0.001	Link Index:	0
-----			
gPozo_Ag_tratado:		Compartment In:	cR5_C
Description:	va despues a diversos usos:	Connection In:	Outflow
Agricultura,		Compartment Out:	dR5_D
		Connection Out:	Inflow
		Bifurcations:	
-----			
Type:	Industria, rio pescaria	dR5_D_CanalR5:	
Compartment Index:	Mixed Reactor Compartment	Description:	Conexcion del reactor 5 al pozo2
Active Variables:	0		(canal + punto de bombeo a
Active Processes:		Type:	clarif)
Initial Conditions:		Link Index:	Advective Link
Inflow:	0	Compartment In:	0
Loadings:		Connection In:	dR5_D
Volume:	20	Compartment Out:	Outflow
Accuracies:		Connection Out:	eCanalR5
Rel. Acc. Q:	0.001	Bifurcations:	Inflow
Abs. Acc. Q:	0.001	-----	
Rel. Acc. V:	0.001	eCanalR5_CS2:	
Abs. Acc. V:	0.001	Description:	Conexcion del pozo2 al clarif2
-----			
Links		Type:	Advective Link
aR5_AB:		Link Index:	0
A al B		Compartment In:	eCanalR5
		Connection In:	Outflow
		Compartment Out:	fCS2
		Connection Out:	Inflow
		Bifurcations:	



```

-----
fCS2_PozoAg_tratado:
Description:
5Km y el rio
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:
-----
Conexion entre la tuberia de
Advective Link
0
fCS2
Outflow
gPozo_Ag_tratado
Inflow
-----
g_PozoTrat_ambiente:
Description:
tratados
Type:
Link Index:
Compartment In:
Connection In:
Compartment Out:
Connection Out:
Bifurcations:
-----
Descargas de lodos y aguas
Advective Link
0
gPozo_Ag_tratado
Outflow
-----
RAS
aR5_A
Inflow
Qb13_Rec_convert_M3_hour
Water Flow:
-----
Definitions of Calculations
-----
Calculo:
Description:
Simulacion de
comportamiento de la
rodamina en
reactores
0
0
given, made consistent
0.01
3000
Status:
active for simulation active
for sensitivity
analysis
-----
Definitions of Parameter Estimation Calculations
-----
fit1:
Description:
Calculation Number:
0
-----
Initial Time:
Initial State:
Step Size:
Num. Steps:
Status:
-----
Dye_pulse:
Description:
Dye Pulse
Time
Dye Pulse
Time (h)
mass flow (g/h)
Variable [CalcNum,Comp.,Zone,
Time/Space]
FAin_Pulse2minR5 [0,aR5_A,Bulk
Volume,0]
-----
Sens:
-----
Initial Time:
Initial State:
Status:
Fit Targets:
Data :
C_Rod_meas :
-----
C_Rod_meas [0,eCanalR5,Bulk Volume,0]
-----
Plot Definitions
-----
Conc_out_Channel_R5:
Description:
Curva de rodamina en
compartiniento de R5_D
Time
c) 4 CSTRs: Qin estimated; Qrec
imposed = 633 lps
Time (h)
Dye Conc. (mg/L)
Variable [CalcNum,Comp.,Zone,
Time/Space]
C_Rod [0,eCanalR5,Bulk Volume,0]
C_Rod_meas [0,eCanalR5,Bulk
Volume,0]
-----
DescargaCANALR5:
Description:
Caudal descargado (Qin +Qrec)
Time
ML flowrate In R5 Channel
Time (h)
Flowrate m3/h
Variable [CalcNum,Comp.,Zone,
Time/Space]
Q_discharge [0,eCanalR5,Bulk
Volume,0]
-----
Dye_pulse:
Description:
Dye Pulse
Time
Dye Pulse
Time (h)
mass flow (g/h)
Variable [CalcNum,Comp.,Zone,
Time/Space]
FAin_Pulse2minR5 [0,aR5_A,Bulk
Volume,0]
-----
Sens:
-----

```

```

Description:
Abscissa:
Title:
Abscissa Label:
Ordinate Label:
Curves:
Type :
[CalcNum,Comp,Zone,
SensAbsRel :
Time
c2, Sensitivity of Qrec an Qin
Time (h)
SensAR
Variable
Time/Space]
C_Rod(Qa07_in_R5_ips)
[0,eCanalR5, Bulk
Volume,0]

*****
Calculation Parameters
*****
Numerical Parameters:
Maximum Integrat. Order: 5
Number of Codiagonals:
Maximum Number of Steps: 1000
-----
Fit Method:
Max. Number of Iterat.:
secant
100
*****

```

## **RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO**

**Jesús María Rendón Leal**

Candidato para el grado de

Maestría en Ciencia con especialidad en Ingeniería Ambiental.

**Tesis:** CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DE UN REACTOR BIOLÓGICO DE LODOS ACTIVADOS

**Área de Estudio:** Ingeniería Ambiental

**Biografía:**

Datos Personales: Nacido en la Ciudad de Cadereyta Jiménez, N.L., el 30 de abril de 1956, hijo de Jesús María Rendón Cantú y Evangelina Leal Montemayor de Rendón.

**Educación:** Egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León, grado obtenido Ingeniero Civil en 1978.

**Experiencia Profesional:** En la empresa Comisión de Agua Potable de Monterrey, encargado de supervisión de obra de 1979 a 1983 y Director de Construcción de 1984 a 1995, etapa en la que coordinó el diseño y construcción de la planta de tratamiento "Agua Industrial del Poniente". En la empresa Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D., ha desempeñado el puesto de Gerente de Tratamiento de 1995 a la fecha, realizando actividades de coordinación de la operación de los sistemas de tratamiento del estado de Nuevo León.

**Dirección de correo:** jrendon@sadm.gob.mx



